



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

HIENOMURSKAAMON LAAJA KÄYTETTÄVYYDEN TARKASTELU

Mirja Ruuskanen

YMPÄRISTOTEKNIikka

Diplomityö

Elokuu 2019



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

HIENOMURSKAAMON LAAJA KÄYTETTÄVYYDEN TARKASTELU

Mirja Ruuskanen

Ohjaajat: Jari Ruuska

Marko Paavola

Mikko Toiviainen

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Diplomityö

Elokuu 2019

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ

Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Ruuskanen, Mirja		Työn ohjaaja yliopistolla Ruuska, J, TkT Paavola M, TkT	
Työn nimi Hienomurskaamon laaja käytettävyyden tarkastelu			
Opintosuunta Automaatiotekniikka	Työn laji Diplomityö	Aika Elokuu 2019	Sivumäärä 85 s., 3 liitettä
<p>Tiivistelmä</p> <p>Terrafame Oy:llä on ollut vuosien saatossa haasteita malmin murskaimien pinnanmittauksen kanssa ja tämä on luonut tähän päivään mielikuvan mittauksen epäluotettavuudesta. Tässä diplomityössä oli tarkoitus selvittää pinnanmittauksen tämän hetkinen luotettavuus, esiintuoda haasteet, joita mittauksessa on sekä selvittää syyt pinnan voimakkaaseen ja nopeaan vaihteluun. Lisäksi työssä tarkastellaan murskaimien lämpötilamittauksia sekä murskaimien aputoimintojen käytettävyyttä. Työ tehtiin toimeksiantona Terrafame Oy:lle 1.2.2019 – 31.7.2019 välisenä aikana.</p> <p>Kirjallisuudessa on käyty läpi tilastollisen analyysin ja käytettävyyden laskennan perusteet, sekä tyypilliset vikadiagnostiikan keinot.</p> <p>Diplomityö toteutettiin tilastollisena tutkimuksena käyttäen data-analyysissa murskaamon mittaushistoriaa, materiaalikulutusten historiaa sekä asiantuntijahaastatteluja. Murskaimien pinnanmittauksen luotettavuuden tarkastelua varten asennettiin varmentava malminpinnanmittaus murskaimeen 342MRK0008.</p> <p>Tutkimuksen aikana kyettiin parantamaan pinnanmittauksien luotettavuutta toteuttamalla tutkille päivitykset, joilla mahdollistettiin laitevalmistajan uusimpien teknologioiden käyttö murskaamolla. Tämän lisäksi pintatutkille toimitettiin kolme työohjetta. Murskaimen huippulaakerin lämpötilamittauksen tarkastelussa havaittiin virhettä, joka poistettiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin murskaimien tukitoiminnoista huippulaakerin rasvausjärjestelmää, sähköistä paineventtiiliä sekä puhdistavaa paineilmaa. Huippulaakerin rasvausjärjestelmästä ja sähköisestä paineventtiilistä toimitettiin Terrafamelle tekniset selvitykset.</p> <p>Tutkimuksessa tehtiin esitutkimusta tukitoiminnoista, joiden toiminnasta kaivoksella ei aikaisemmin ole ollut virallista selvitystä. Tämän tutkimuksen pohjalta voidaan Terrafame Oy:llä kohdentaa suunnittelun resursseja suoraan ongelmien juurisyiden ratkaisemiseen.</p>			
Muita tietoja			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Degree Programme in Environmental Engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Ruuskanen, Mirja		Thesis Supervisor Ruuska J, D. Sc. (Tech.) Paavola M, D. Sc. (Tech)	
Title of Thesis Extensive analysis of the usability of the tertiary and quaternary crushing plants			
Major Subject Automation Engineering	Type of Thesis Master's thesis	Submission Date August 2019	Number of Pages 85 p., 3 App.
<p>Abstract</p> <p>Over the years Terrafame Ltd has had challenges related to the ore crushers' level measurement, which has created a feeling of an unreliable measurement. The purpose of this master's thesis was to examine the current reliability of the level measurement, reveal challenges related to the measurement, and investigate the mechanisms behind the rapid and strong changes of the ore level. In addition, the crushers' temperature measurement was examined along with the usability of auxiliaries within the crusher. This master's thesis was done as an assignment for Terrafame Ltd during 1.2.2019 – 31.7.2019.</p> <p>The literature review covers the principles of statistical analysis and equipment effectiveness, in addition to the typically used methods of fault diagnostics.</p> <p>The master's thesis was carried out as a statistical research with measurement data from the crushing plant, historical data of material consumption, and expert interviews. Crusher 342MRK0008 was fitted with an additional ore level sensor to examine the reliability of the standard level sensors.</p> <p>The reliability of the level measurement was improved by carrying out updates to the sensors, which enabled the use of the supplier's latest technologies at the crushing plant. In addition, three work instructions were delivered for the level sensors. The temperature measurement of the crusher's top bearing was found to be inaccurate, which was then corrected. The scope of the research of the crushers' auxiliaries included the of top bearing greasing system, electrical pressure valve, and pressurized cleaning air. Technical reports of the top bearing greasing system and electrical pressure valve were delivered to Terrafame.</p> <p>This study included preliminary research of the auxiliaries, which the company had no previous official report of. This study provides a tool for Terrafame Ltd to target resources directly to solving the root causes of the problems.</p>			
Additional Information			

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää, miten Terrafamen kaivoksen hienomurskaamon laitteiston käytettävyyttä voitaisi tehostaa. Työ tehtiin toimeksiantona Terrafame Oy:lle helmikuun ja elokuun välisenä ajanjaksona 2019. Diplomityön tekeminen on ollut erittäin opettavainen ja antoisa prosessi.

Kiitos Terrafamelle ja sähköautomaatiopäällikkö Mikko Toiviaiselle mahdollisuudesta tehdä diplomityö kaivokselle. Erityiskiitokset kuuluvat myös prosessi-insinööri Matti Okkoselle erittäin mielenkiintoisista ja opettavista keskusteluista, Tero Pulkkiselle perehdyttämisestä kaivostoimintaan kokonaisuutena sekä kunnossapitoinsinööri Jussi Kokkoselle ja mekaanisen kunnossapidon työnjohtajalle Vesa Kärnälle pitkäjänteisyydestä selittää ja opettaa murskaimien mekaniikkaa. Haluan kiittää myös ohjaajiani Jari Ruuskaa ja Marko Paavolaa opastuksesta, ohjeistuksesta ja diplomityön korjausehdotuksista.

Suurkiitokset ansaitsevat myös avopuolisoni Matias kärsivällisyydestä sekä Laura vertaistuesta.

Sotkamossa 15.7.2019

Mirja Ruuskanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO.....	6
1 PROSESSIKUVAUS.....	10
1.1 Malmin talteenoton prosessikuvaus	10
1.2 Diplomityössä esiintyvät koneet ja järjestelmät	11
1.2.1 Murskain (Sandvik Oy CH-880).....	11
1.2.2 Syötin (Sandvik PFX 16/30).....	12
1.2.3 Pintatutka (Vegapuls 67)	12
1.2.4 Säättö- ja ohjausjärjestelmät (ValmetDNA ja ASRi).....	14
1.2.5 Kunnossapidon ohjelmisto (Maximo)	15
1.2.6 Sähköinen paineventtiili (Sandvik)	16
1.2.7 Huippulaakerin rasvausjärjestelmä (Lincoln).....	16
2 DATA-ANALYYSI.....	18
2.1 Yleisesti	18
2.1.1 Tutkimuksen perusteet	18
2.1.2 Mitä data on	19
2.1.3 Data-analyysin vaiheet	19
2.1.4 Tilastollinen analyysi	20
3 KÄYTETTÄVYYS JA VIKAANTUMINEN	23
3.1 Käytettävyyden määritelmä	23
3.2 Käytettävyyden mittaaminen	24
3.3 Vikadiagnostiikka	25
3.3.1 Juurisyyanalyysi, root cause analysis (RCA)	26
3.3.2 Pareto-analyysi.....	29
3.3.3 Vikavaikutusanalyysi (VVA), Failure mode and effects analysis (FMEA)	30
3.3.4 Vikapuuanalyysi (VPA), Fault tree analysis (FTA).....	33
3.3.5 Kuntotarkastukset.....	35
4 TUTKIMUKSEN ETENEMINEN JA TULOKSET	36
4.1 Käytetyn datan esittely	36
4.1.1 Asiantuntijahaastattelut	36
4.1.2 Pintatutkien mittaukset	36
4.1.3 Vikataajuudet	36

4.1.4	Huippulaakerirasva määrän ja kulutuksen mittaus	37
4.1.5	Käyttöaste	38
4.1.6	Murskaimien paineilman tarkastelu	38
4.2	Tutkimuksen lähtötiedot	38
4.3	Ongelman tunnistaminen ja hypoteesi I asteen syistä	39
4.4	II asteen syyt	40
4.4.1	Pinnanmittauksen luotettavuus	40
4.4.2	Tutkien suuntaus	41
4.4.3	Tutkien asetukset	41
4.5	Pintatutkien toimivuus	44
4.6	Pinnan säädön toimivuus	45
4.7	Toinen hypoteesi, sähköisen paineventtiilin vaikutus pinnantasoon	46
4.8	Kolmas hypoteesi, murskaimen syöttimen toiminta	47
4.8.1	PAKKO-OHJ. SEIS	47
4.8.2	Jaksokäynnistys ja huippulaakerin lämpötila	49
4.8.3	Automaattiset seis ja käy -rajat	50
4.9	Juurisyys pinnanvaihteluun, siilojen pieni kapasiteetti	51
4.9.1	Siilojen pinnamittaus	52
4.10	Vikaantumistaajuudet	54
4.10.1	Maximo: välitön ja siirretty vika	55
4.10.2	Terien halkeamistaajuus	56
4.10.3	Varaosakulutus	57
4.11	Huippulaakerin rasvankulutus ja määrän mittaus	58
4.11.1	Huippulaakerirasvan kulutus	58
4.11.2	Huippulaakerirasvan määrän mittaus	61
4.12	Hienomurskaamon paineilmajärjestelmä	63
4.12.1	Murskainten väliset ilmanpaineen tasoerot	63
4.12.2	Havainnot painemittauksen toimivuudesta	64
5	TULOSTEN TARKASTELU	68
5.1	Huomiot kerätyistä datasta	68
5.1.1	Vikaantumistaajuudet	68
5.1.2	Huippulaakerirasvan mittaukset	69
5.1.3	Asiantuntijahaastattelut	70
5.2	Pinnanmittauksen käytettävyys	70
5.2.1	Pintatutkien mittauksen luotettavuus	70
5.2.2	Pintatutkien käytettävyyden parantaminen ja tavoitepinnan määrittäminen	70
5.3	Haasteet laitemitoituksissa	71

5.4 Havainnot vikaantumistaajuuksista.....	72
5.4.1 Varaosien kierron seurannan puute	72
5.4.2 Rasvausjärjestelmän toimivuus.....	72
5.4.3 Murskaimien ilmansyötön toimivuus.....	73
5.4.4 Terien halkeilu	74
5.4.5 Huippulaakerin lämpötilanmittaus	74
5.5 Keinot käytettävyyden ja käyttövarmuuden kohottamiseksi	75
5.5.1 Viralliset ohjeet työsuorituksista ja asetusten yhtenäistäminen.....	75
5.5.2 Kulutusten ja varaosien kierron seuranta	76
5.5.3 Murskaimien tukitoiminnot	76
5.5.4 Lisättävät mittaukset	77
5.5.5 Murskaimien tukosvahtien käyttövarmuus	78
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUKSET	79
6.1 Johtopäätökset.....	79
6.2 Jatkotutkimukset	80
LÄHDELUETTELO.....	82

LIITTEET:

Liite 1. Hienomurskaamon prosessikaavio

Liite 2. Välittömien ja siirrettyjen vikojen luokittelu

Liite 3. Huippulaakerirasvan mittaus murskaimittain

1 PROSESSIKUVAUS

1.1 Malmin talteenoton prosessikuvaus

Terrafame Oy on Sotkamon kunnassa toimiva monimetalliyritys, jonka päätuotteita ovat nikkeli, sinkki, koboltti ja kupari. Tuotanto jaetaan neljään päävaiheeseen seuraavasti:

- louhinta ja malminkäsittely,
- bioliuotus,
- metallien talteenotto ja
- kuljetus.

Malminkäsittelyssä louhittu malmikivi hienonnetaan haluttuun partikkelikokoon ja malmi kasataan bioliuotusta varten. Louhitun malmin ensimmäinen prosessivaihe on murskaus FL Smidth Taylor –karkeamurskaimella. Karkeamurskauksen jälkeen partikkelien maksimikoko on 250 mm.

Karkeamurskauksesta malmi siirtyy hihnakuljettimilla välivarastoon. Välivarastointia käytetään, koska seuraavan prosessivaiheen murskaimien yhteenlaskettu kapasiteetti ei ole yhtä suuri kuin karkeamurskaimen. Lisäksi välivarastolla varmistetaan raaka-aineen syöttö prosessiin myös karkeamurskaimen käyttökatkojen aikana.

Välivarastosta malmi siirretään toisen vaiheen murskaukseen hihnakuljettimilla. Toisen vaiheen murskaamoa kutsutaan välimurskaamoksi, jossa on käytössä kolme Sandvik Oy:n CH-880 -kartiomurskainta. Toisen vaiheen murskaimilta malmi ajetaan seulomoon primääriseulontaan, jossa alitteena saatavat alle 8 mm:n partikkelit kuljetetaan agglomerointiin. Suuremmat kuin 8 mm:n partikkelit kuljetetaan kolmanteen murskausvaiheeseen.

Kolmas ja neljäs murskausvaihe tapahtuu hienomurskaamalla. Kolmannessa murskausvaiheessa on käytössä neljä Sandvik Oy:n kartiomurskainta, kaksi H-880- ja kaksi CH-895-murskainta. Sekundaariseulonnassa poistetaan jälleen alle 8mm:n partikkelit agglomerointiin ja tätä suuremmat ohjataan neljännen vaiheen murskaukseen. Neljännessä vaiheessa on käytössä kuusi Sandvik Oy:n CH-880-kartiomurskainta. Neljännessä murskausvaiheesta malmi syötetään seuloille, joista alite ohjataan agglomerointiin ja ylite ohjataan takaisin neljännen vaiheen murskaimille.

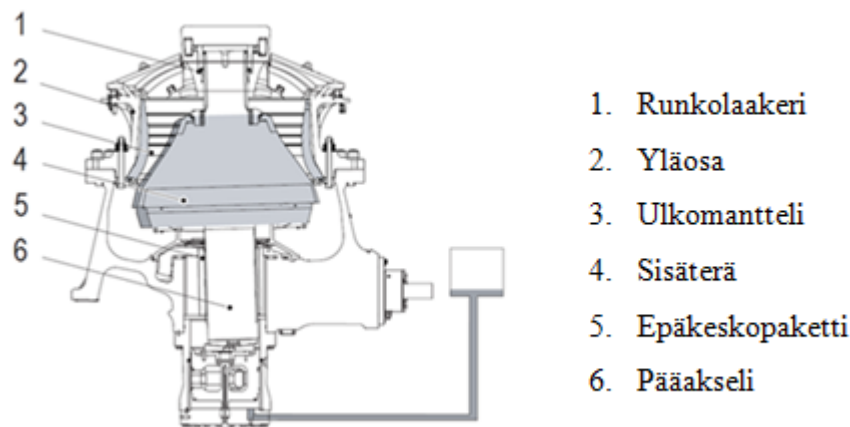
Murskauspiirin tuote agglomeroidaan pyörivissä rummuissa. Agglomeraattina toimii PSL-liuos. PSL-liuos on vettä, joka sisältää liuennetta metalleja sekä rikkihappoa. Agglomeroinnin jälkeen malmi kasataan noin 10 metriä korkeaksi primäärikasaksi. Kasoissa tapahtuu bioliuotus ja primäärikasassa malmin viipymäaika on noin 1,5 vuotta. Malminkäsittelyn kuvaus perustuu Terrafamen prosessin kuvaus –dokumenttiin. Tässä diplomityössä tarkastellaan nimenomaan hienomurskaamon käytettävyyttä, hienomurskaamon prosessikaavio on liitteenä 1. (Terrafame ID 21398)

1.2 Diplomityössä esiintyvät koneet ja järjestelmät

Koneiden ja järjestelmien esittelyssä esitetyt tiedot ovat peräisin kunkin laitteen käyttäjän käsikirjasta, ohjekirjasta tai asennusoppaasta.

1.2.1 Murskain (Sandvik Oy CH-880)

CH-880 on kartiomurskain, jossa kivet murskataan kahden kovan pinnan välissä, sisä- ja ulkoterän. Murskaukseen tarvittava liike-energia saadaan aikaan pääakselin epäkeskokiertoliikkeellä. Murskaimen rakenne esitellään kuvassa 1.

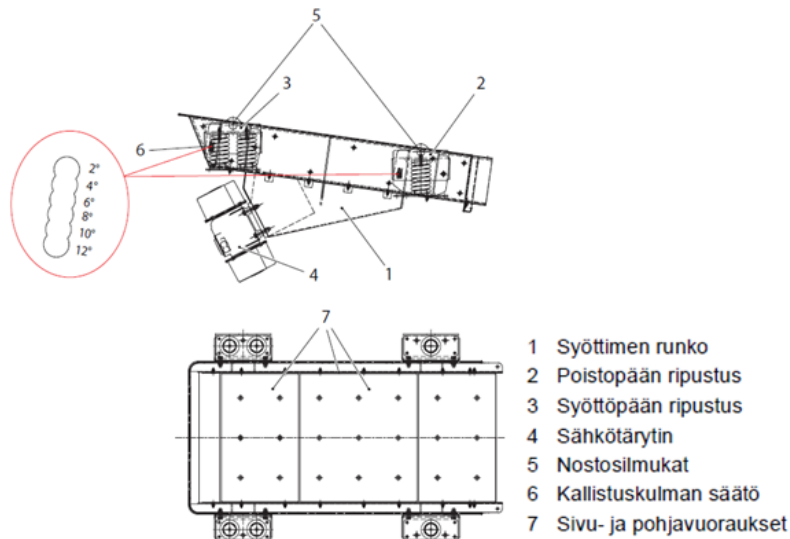


Kuva 1. Sandvik-kartiomurskain, rakennekuva (Terrafamen sisäinen dokumentaatio).

Murskain saa käyttövoimansa sähkömoottorilta, josta voima välitetään hammaspyörillä epäkeskoakselille. Näin saadaan aikaan kara-akselin oskilloiva liike, joka saa aikaan sisäterän oskilloivan liikkeen ulkoterää vasten. (Sandvik 2006)

1.2.2 Syötin (Sandvik PFX 16/30)

Laite toimii syöttimenä siilosta murskaimelle, joka on esitetty kuvassa 2. Tärytin saa kivet liikkumaan eli valumaan syötintä alaspäin murskaimelle. Syöttimien tärytysnopeuksia säätämällä säädellään malmin pinnankorkeutta murskaimissa. Valmistajan ilmoittama syöttimen maksimikapasiteetti on 1500 t/h. (Sandvik 2006)



Kuva 2. Syötin (TerraFamen sisäinen dokumentaatio).

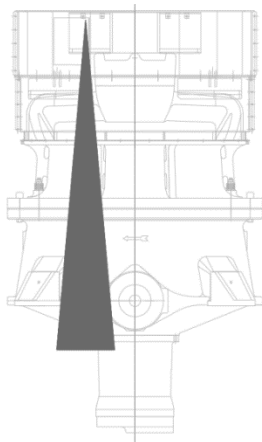
1.2.3 Pintatutka (Vegapuls 67)

Murskaimien malmipinnan mittaamisen luotettavuuden tarkastelu oli tämän diplomityön yksi päätavoitteista. Pinnanmittauksen murskaimilla haastavaksi tekevät pöly, tutkan keilan eteen lentävät malmi, malmin lajittuminen sekä epätasainen jakautuminen murskaimessa. Prosessiolosuhteet ovat mekaanisesti hyvin kuluttavat, joten mekaaniset vauriot niin itse tutkissa kuin kaapeleissakin ovat mahdollisia. Voimakkaan pölyämisen vuoksi laseriin perustuvat pinnanmittaukset eivät ole toimineet murskaimilla. Pölyämisen vuoksi murskaamalla on päädytty käyttämään tutkaan perustuvia pintamittareita. Ratkaisuna eteen lentäviin malmiin, lajittumiseen ja epätasaiseen jakaumaan on optimoitu tutkien sijoittelua ja asentamalla jakajat murskaimiin.

Murskainten terien vaihtosykli on suhteellisen lyhyt TerraFamella johtuen malmin kovuudesta. Terät kuluvat nopeasti jauhettaessa kovaa malmiä ja näin vaihtoja joudutaan suorittamaan jopa alle kahden kuukauden syklillä. Murskaimien kannet on kohdennettu tietylle murskaimelle, jotta pintatutkan suuntaus pysyisi oikeana. Lisäksi kansiin on asennettu haittapalat, jotka estävät väärän kannen asentamista murskaimeen.

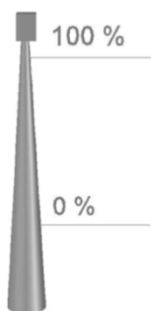
Haittapaloja käytetään myös varmistamaan, ettei pintatutkan asettaminen paikoilleen olisi mahdollista kuin yhdellä tavalla.

Hienomurskaamo 1:llä on murskainten pinnanmittauksessa käytössä Vegapuls 67 – pintatutkat. Vegapuls 67 on jatkuvatoiminen pintatutka kiinteille aineille, säteilyn keila aukeaa 10° kulmassa ja maksimimittausetäisyys on 15 metriä. Mittausalueen laajuuden vuoksi tutka sopii hyvin niin murskaimien kuin silojen pintatason mittaukseen hienomurskaamolla. Terrafamella tutkat on sijoitettu kannelle murskaimen etupuolelle. Kuvassa 3 on mallinnettu Vegapuls 67:n tutkan paikka CH-880- murskaimella ja havainnollistettu keilan aukeaminen. (Vegapuls 67 ID 32938)



Kuva 3. Tutkan keilan aukeaminen murskaimessa (mukaillen Terrafame).

Käyttäjä määrittää, että millä etäisyydellä tutka lukee pinnan tasoksi 100 prosenttia. Käyttäjä asettaa myös tutkalle 0 prosentin rajan. Mikäli mitattava pinta laskee alle 0 prosentin, tutka antaa mittaustuloksen negatiivisena arvona. Vastaavasti jos pinta nousee yli 100 prosentin, mittaustulos nousee yli 100 prosentin. Mittausvälin määrittäminen on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Tutkan raja-arvojen määrittäminen.

1.2.4 Sääto- ja ohjausjärjestelmät (ValmetDNA ja ASRi)

Kartiomurskaimilla on käytössä kahta asetus- ja säätöjärjestelmää, Valmet DNA ja ASRi. Murskaimien 11 ja 12 ohjaus- ja lukitusjärjestelmänä on ValmetDNA ja muut murskaimet on rakennettu ASRi-järjestelmään. ASRi:ssa olevien murskainten käyttöliittymä on kuitenkin rakennettu ValmetDNA-järjestelmään, jotta operaattorit voisivat ohjata prosessia yhdestä järjestelmästä.

ASRi on asetusten automaattinen säätöjärjestelmä. ASRi tulee murskaimien mukana vakiovarusteena. ASRi:n tarkoitus on kerätä murskaimesta mittaustietoa, josta seurataan murskaimen toimintaa ja toimintakuntoa. ASRi kerää tietoa

- kartiomurskaimen moottorin ottotehosta,
- Hydroset-järjestelmän paineesta ja
- etäisyydestä A, joka on huippulaakeritilan alalaidan ja päämutterin yläosan välinen etäisyys.

ASRi:n avulla kartiomurskaimen toimintaa säädetään kahden pääperiaatteen mukaisesti

- Jatkuvan, ennalta määritetyn asetuksen ylläpitäminen
- Jatkuvan, ennalta määritetyn murskaimen kuorman ylläpitäminen.

Terrafamella ajetaan murskaimia ennalta määritetyn kuorman mukaisesti, toisin sanoen operaattorit ajavat murskaimia moottorin ottotehoa ja järjestelmän painetta vastaan. (Sandvik 2012)

ValmetDNA on kokonaisvaltainen säätö- ja ohjausjärjestelmä. Se ei ole spesifioitu yhdellekään prosessin osalle, vaan ValmetDNA:n avulla valvotaan koko prosessia, koneiden toimintaa ja toimintakuntoa ja tuotteen laatua. ValmetDNA kerää prosessitiedon talteen ja tätä dataa voidaan käyttää hyödyksi muun muassa prosessien optimoinnissa ja vika-analyyseissa. Järjestelmässä verkkorakenne on hajautettu ja tämän vuoksi järjestelmään voidaan lisätä tai sieltä voidaan poistaa osia ilman, että muiden järjestelmän osien toiminta häiriintyy.

Prosessin hälytykset näkyvät hienomurskaamalla ValmetDNA:ssa. Hälytykset jakautuvat joko piirikohtaisiksi tai systeemihälytyksiksi. Hälytyksissä on käytössä

viisiportainen prioriteettiluokitus. Terrafamella koko prosessin ohjaus tapahtuu ValmetDNA:n kautta. (Valmet corporation)

1.2.5 Kunnossapidon ohjelmisto (Maximo)

Maximo on kunnossapidon ohjelmisto, jonka avulla voidaan hallinnoida varastoja, laitteita, ostotoimintoja, töitä, palveluita ja sopimuksia. Terrafamella on laadittu työohjeet siitä, kuinka Maximon avulla Terrafamella ilmoitetaan ja seurataan kunnossapitotöitä.

Kun hienomurskaamalla tarkastuskierroksilla tai muussa tapauksessa havaitaan vika, niin Maximoon tehdään työpöytä. Työpöytäkirjaan kirjataan kuvaus tehtävästä työstä, kohteen sijainti, työn suorittajan työryhmä, työn laji, onko kyseessä seisokkityö ja prioriteettiluokka. Työlajeja on yhdeksän erilaista, joista valitaan kohteeseen sopiva. Seuraava luettelo on suoraan Terrafame työohjeesta: Maximo 7.6.1 Työpöydän luominen

1. Jaksotettu toimenpide – Ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin ilman edeltävää toimintakunnan tutkimusta.
2. Kuntoon perustuva toimenpide – Kunnanvalvonnalla tai tarkastustoiminnalla havaittujen kohteiden suunniteltu korjaus. Tehdään suunnitellussa seisokissa eikä ole vaikutusta tuotantoon.
3. Kunnostaminen – Kuluneen tai vaurioituneen käytöstä pois otetun kohteen palauttaminen käyttökuntoon huoltotiloissa.
4. Välitön vikakorjaus – Välitön korjaus suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta voidaan palauttaa toimintakunto tai rajata vian aiheuttamat seuraukset hyväksyttävälle tasolle.
5. Siirretty vikakorjaus – korjaus, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan se on siirretty tehtäväksi kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa. Tehdään suunnittelun seisokin ulkopuolella.
6. Suunnittelutyö
7. Turvallisuustyö – Olemassaolevan laitteiston työturvallisuuteen vaikuttavat kunnossapitotyöt.
8. Muutostyöt – muut pienmuutostyöt, jotka eivät ole parantavia töitä ja eivät tulleet suunnittelun kautta.

Työhön voidaan liittää Maximossa myös työsuunnitelma. Tämä on työtilaukseen liittyvä työnkuvaus. Työsuunnitelmilla määritellään arviot työn vaatimista resursseista, työn kestosta sekä tarvittaessa kuvataan työn vaiheet tehtävien avulla. (Terrafame 2018)

1.2.6 Sähköinen paineventtiili (Sandvik)

Paineventtiilin tarkoituksena on suojata murskainta satunnaisten, murskautumattomien esineiden aiheuttamilta painepiikeiltä sekä pakkaantumiselta. Kaikissa murskaimissa on mekaaninen paineventtiili, joka on Terrafamella asetettu toimimaan ajopaineen ollessa yli 7 MPa Hydroset-järjestelmässä. Oletustoimipaine Sandvikin murskaimilla on 6 MPa, mutta Terrafamella ajopaineen ollessa 5,8 MPa, niin näin pienellä erotuksella murskaimiin tulisi paljon turhia aukaisuja. Mekaanisen paineventtiilin lisäksi murskaimissa 342MRK0004, 342MRK0005, 342MRK0008 ja 342MRK0009 on sähköinen paineventtiili.

E-dump, eli sähköinen paineventtiili, on järjestelmä, joka mittaa Hydroset-järjestelmän paineen 200 kertaa sekunnissa. Kun paine nousee asetetun 10 MPa:n yläpuolelle, niin sähköinen paineventtiili laskee 0,1 sekunnin viiveellä Hydrosetin painetta 1,14 sekunnin ajan. Paineen laskun ajan pääakseli laskeutuu alaspäin, jotta murskautumaton esine poistuisi murskasta. Sähköisen paineventtiilin etuna verrattuna mekaaniseen venttiiliin on huomattavasti nopeampi reagointikyky. (Sandvik 2012)

Sähköisen paineventtiilin toiminta on kuvattu tarkemmin Terrafamelle toimitetussa teknisessä selvityksessä ”Sähköinen paineventtiili”.

1.2.7 Huippulaakerin rasvausjärjestelmä (Lincoln)

Huippulaakerin tehtävänä murskaimessa on tukea pääakselia akselin yläpäästä murskauksen aikana. Pääakselin liike huippulaakerin sisällä on sekä kiertävää että pyörivää. Kitkan pienentämiseksi käytetään rasvaa huippulaakerin ja akselin välissä.

Teränvaihdon yhteydessä huippulaakeriin laitetaan 36 kg huippulaakerirasvaa ja käynnin aikana rasvan määrää ylläpitää rasvausjärjestelmä. Optimaalisessa tilanteessa huippulaakerissa on edelleen 36 kg rasvaa, kun murskain otetaan uudestaan teritykseen. Kriittiseksi alarajaksi rasvamäärälle asiantuntijat ovat määrittäneet 10 kg.

Terrafamella on käytössä huippulaakereille rasvausjärjestelmä (Lincoln), joka ylläpitää huippulaakereiden rasvatasoja teritysten välisen ajan. Hienomurskaamo 1 on jaettu kahteen rasvauspiiriin, rasvausyksiköt 1 ja 2. Näihin molempiin kuuluu yhteensä viisi murskainta molemmista murskausvaiheista.

Rasvapumppu pumppaa rasvalinjaan 150 baarin paineen, jolloin murskaimilla olevat rasvanannostelijat täyttyvät. Kun rasvalinjastosta paine lasketaan takaisin 1 baariin, annostelija syöttää rasvan huippulaakerille. Jokaista murskainta ennen linjassa on magneettiventtiili, joka saa *auki* ja *kiinni* -tiedon murskaimen käyntitiedosta. Magneettiventtiili aukeaa, kun murskain käynnistyy ja magneettiventtiili sulkeutuu, kun murskaimen pysähtymisestä on kulunut 60 sekuntia. Näin vältetään huippulaakerirasvan tulvimiselta murskaimen ollessa pysähdyksissä.

Rasvausjärjestelmä on kuvattu tarkemmin Terrafamelle toimitetussa teknisessä selvityksessä ”HIMU1:n huippulaakereiden rasvausjärjestelmä”.

2 DATA-ANALYYSI

2.1 Yleisesti

Tutkimuksen tavoitteena on ilmiöiden ymmärtäminen ja tätä kautta selittäminen. Tutkimuksessa pyritään tekemään ennustemallit ja tarvittaessa kontrolloimaan ilmiötä. Aina täytyy muistaa, ettei teollisuudessa tutkimus ole itsetarkoitus. Teollisuudessa tutkimuksella on päämääränä parantaa tuotannon prosesseja selvittämällä hallinta- ja lähtösuureiden syy ja seuraus – suhdetta.

2.1.1 Tutkimuksen perusteet

Tutkimuksella on pääsääntöisesti neljä eri pääelementtiä: tutkimustehtävä, teorianmuodostus, aineistonkeruu ja aineiston analyysi. Tutkimuksessa on lähtökohtaisesti aina tutkimusongelma, josta muodostetaan tutkimuskysymykset. Empiirisessä tutkimuksessa tutkimusongelmana voi olla ilmiön tai tapahtuman syyn selvittäminen. Tutkimuksessa voidaan tähdätä siihen, että löydetään ratkaisu, kuinka jokin asia täytyisi toteuttaa, jotta saavutetaan paras lopputulos. (Heikkilä 2014, s.15)

Empiiriset tutkimukset voidaan luokitella usealla eri tavalla, joista yksi mahdollisuus on luokitella tutkimus kartoittavaksi, selittäväksi ja toimintatutkimukseksi. Kartoittava tutkimus on tavallisesti esitutkimusta, jolloin tavoitteena on löytää tutkimuksen kohteena olevan ilmiön selvittäviä tekijöitä. Selittävää tutkimusta kutsutaan myös termillä kausaalinen tutkimus ja tuolloin pyritään selvittämään ilmiöiden syy- ja seuraussuhteita. Toimintatutkimuksessa tutkija yhdessä kohteen kanssa pyrkii kehittämään ja muuttamaan prosessia. (Heikkilä 2014, s.15)

Tutkimusasetelma voi olla joko intensiivinen tai ekstensiivinen. Intensiivinen tutkimus tarkoittaa tarkasti muutamaa ilmiöön kohdistuvaa tutkimusta, ja ekstensiivinen on laajasti tarkasteleva, muttei niin syvällinen. Tutkimusote voi olla joko kvalitatiivinen tai kvantitatiivinen. Kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus pyrkii vastaamaan kysymyksiin: Miksi? Miten? Millainen? Puolestaan kvalitatiivinen eli määrällinen tutkimus pyrkii vastaamaan kysymyksiin: Mikä? Missä? Paljonko? Kuinka usein? Kvantitatiivisessa tutkimuksessa otos on suuri ja edustava, kun kvalitatiivisessa se on puolestaan suppea ja harkinnanvarainen. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa käytettävät

tiedot voivat olla erilaisista muiden keräämistä tilastoista, tietokannoista tai itse kerättyä. (Heikkilä 2014, s.15)

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa ei tutkimuksen alussa välttämättä ole tietoa tutkimuksen etenemisestä ja eri vaiheista. Esimerkiksi tutkimuksen tehtävä ja aineiston keruu voivat muotoutua vähitellen tutkimuksen edetessä. Syy sille, miksi joskus päädytään tällaiseen tutkimusotteeseen voi olla, että tutkijan tavoite on saada mahdollisimman laaja käsitysä kohteesta ennen tutkimuspäätösten tekemistä. Kun tutkimuskohteen luonne selviää tutkijalle, myös tutkimusmenetelmälliset ratkaisut täsmentyvät. Tällöin tutkimuselementit kehittyvät joustavasti tutkimuksen edetessä, ne limittyvät keskenään ja muodostuvat pikkuhiljaa. (Kiviniemi 2018)

2.1.2 Mitä data on

Data ei ole aina numeroita, vaan data tarkoittaa tietoa yleisesti. Data on tietoa, joka koostuu tunnetuista tosiasioista. Data on asian säännönmukainen esitys viestitettävässä tai käsittelykelpoisessa muodossa. Tästä tiedosta pystytään tekemään päätelmiä tai käyttämään sitä laskennan perustana. (Kielitoimiston sanakirja 2018)

Data voidaan jakaa numeeriseen taikka kategoriseen dataan. Näitä molempia datan muotoja käsiteltiin tämän työn aikana. Numeerinen data on numeroita, joille voidaan suorittaa laskutoimenpiteitä. Numeerinen data voidaan jakaa vielä alalohkoihin diskreetti ja jatkuva-aikainen. Kategorinen data puolestaan on arvoja, joita voidaan luokitella erilaisiin ryhmiin ja kategorioihin. Esimerkiksi murskaimesta puhuttaessa voidaan kategorisesti valita vaihtoehtoista *käy / pysähdyksissä* tai *täynnä / vajaa / tyhjä*.

2.1.3 Data-analyysin vaiheet

Aivan aluksi on tärkeää ymmärtää tutkittava ilmiö mahdollisimman hyvin. Tämän jälkeen analyysissa voidaan edetä vaihe vaiheelta seuraavasti:

- Hankitaan tarvittava raakadata
- Esikäsitellään raakadata
 - suodatukset ja puhdistukset
 - täydentämiset ja yhdistelemiset
 - korjaukset
 - muuntaminen käytettävään muotoon

- Tehdään analyysi datasta
 - luokittelu
 - visualisointi
 - korrelaatiot
 - regressio
- Jälkikäsitteily
 - tulkinta
 - dokumentointi
 - arviointi

Analyysilla saadut mittaustulokset täytyy saada sellaiseen muotoon, että tutkimustuloksen lukija pystyy ymmärtämään tulokset. Raportista ei ole mitään hyötyä, jos ainoastaan raportin laatija kykenee ymmärtämään raportin sisällön. Teollisuudessa analyysilla on usein tavoitteena, että vika / vian vaikutukset voidaan joko poistaa, eristää tai vähentää korjaustoimenpitein. Mikäli todetaan, ettei mikään näistä toimenpiteistä ole mahdollinen, silloin vian vaikutukset joudutaan hyväksymään. (Cuesta 2013, s. 7)

Tässä työssä tarkastellaan data-analyysin menetelmiä, joilla on tarkoitus selvittää prosessin vikaantumista, vikaantumisen aiheuttaneita syitä ja vikaantumisesta aiheutuneita seurauksia. Luvussa 3.3 esitellään analyysimenetelmiä, joita voidaan käyttää analysoitaessa jo tapahtuneita vikaantumisia tai ennakoimaan mahdollisia tulevia vikaantumisia. (Cuesta 2013, s. 7)

2.1.4 Tilastollinen analyysi

Tilasto on Kielitoimiston sanakirjan mukaan todellisuutta koskeviin havaintoihin perustuva numeeristen tietojen kokoelma. Suomen kielessä kulkee kuitenkin sanonta ”Vale, emävale, tilasto”. Tilastollisissa tutkimuksissa täytyykin muistaa, ettei mikään päättely takaa johtopäätösten luotettavuutta, teoreettista mielekkyyttä tai tieteellistä merkitsevyyttä. Väärinymmärrykset tilastotieteessä usein tulevat siitä olettamuksesta, että tutkijan tarvitsee huomioda vain päättely ja sen säännöt, jotta päästään tulkintaan ja selitykseen. (Ketokivi 2009, s.15)

Tilastollista tutkimusta tehdessä täytyy erottaa päättely, päättelyn tulkinta ja teoreettinen selitys toisistaan. Tilastollisen laskennan päämääränä on estimoida tutkimuksen

kannalta merkittävimmät muuttujat mahdollisimman luotettavasti. Laskennan perusteella suoritetaan päättely ja tulkinta. Päättelyn tulkinnan apuna käytetään päättelysääntöjä ja kriteerejä. Tilastollisessa tulkinnassa ei kuitenkaan ole yhtään kaikkiin tutkimuksiin sopivaa sääntöä. Jokaisessa tutkimuksessa täytyy valita kyseiseen tutkimukseen sopivat menetelmät. Tämä välivaihe tulee erottaa teoreettisesta tulkinnasta ja selittämisestä. Päättelyiden tulkinta ei pohjaudu enää matematiikan sääntöihin, vaan ne ovat tiedeyhteisön yleisesti hyväksymiä toimintatapoja. Tämän vuoksi täytyy tunnistaa toisistaan päättely ja päättelyn tulkinta. (Hair, 2014)

Todennäköisyysjakaumalla kuvataan ilmiöstä sitä, että ovatko jotkin arvot todennäköisempiä kuin toiset. Todennäköisyyslaskennassa erilaisia jakaumia on useita; diskreetti tasajakauma, Bernoulli-jakauma, binomijakauma, geometrinen jakauma, Poisson-jakauma ja jatkuvia jakaumia. Tässä diplomityössä tilastollisessa tarkastelussa käytetään ainoastaan normaalijakaumaa, joten teoriaosuudessa esitellään vain tämä. (Berendsen 2011, s. 42)

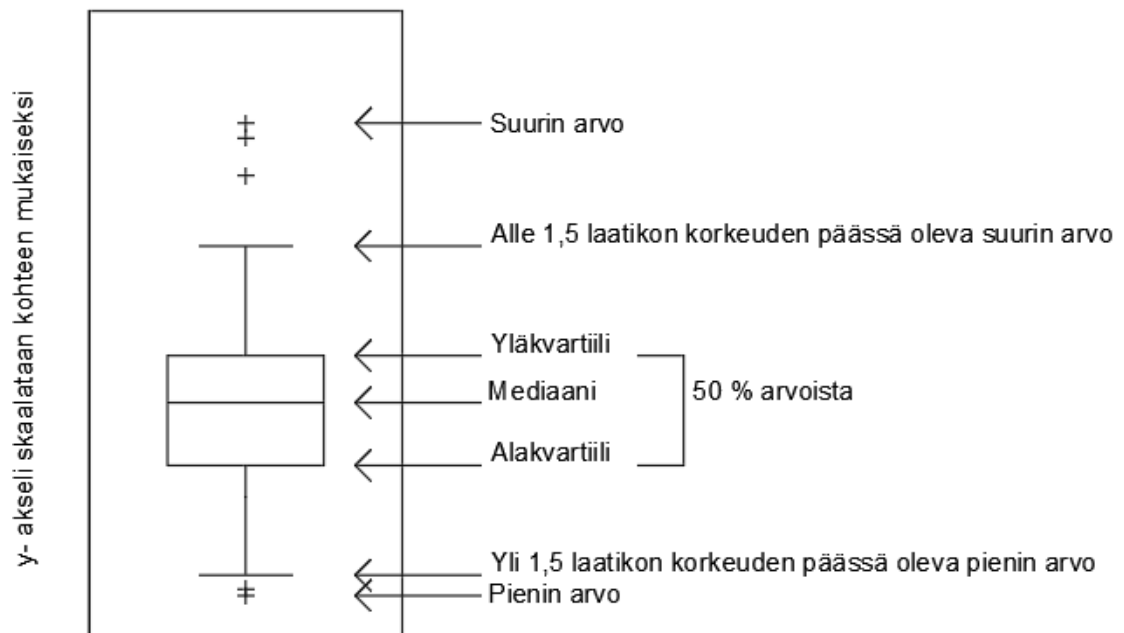
Normaalijakauma on luultavasti tilastotieteessä eniten käytetty jakauma ja se on tärkeä useasta syystä. Satunnaismuuttujat, joihin vaikuttaa toisistaan riippumattomat muuttujat, ovat normaalijakautuneita. Prosessiteollisuudessa tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että mikäli prosessissa ei ole ulkopuolista häiriötekijää, muodostavat mittaustulokset normaalijakauman. Teollisuudessa mittaustulosten jakautuminen normaalijakaumaan ei vielä kuitenkaan automaattisesti merkitse tuloksen olevan hyvä tai hyväksyttävä. Normaalijakautunut mittaus tulee ymmärtää prosessille ei välttämättä hyväksi vaan tyypilliseksi ilmiöksi. (Nummenmaa 2017, s. 145)

Normaalijakauman tiheysfunktio muistuttaa kirkonkellon sivuprofiilia, ja tämän vuoksi sitä kutsutaan kellokäyräksi tai keksijänsä Karl Fiedrich Gaussin (1777-1855) mukaan Gaussin käyräksi. Täydellisesti normaalijakautuneessa mittauksessa mittaustulokset jakautuisivat 50 % keskiarvon molemmille puolille. Otannan normaalijakautuneisuuden tarkastelu on helpoimmillaan otosjakauman histogrammin vertaamista Gaussin käyrään. Numeerisesti normaalijakautuneisuuden olettamusta voidaan testata Kolmogorov-Smirnovin testillä. (Holopainen 2002, s.183)

Kun halutaan tarkastella kahden muuttujan välistä yhteyttä, yhtenä keinona voidaan laskea muuttujille korrelaatiokerroin. Korrelaatiokerroin kertoo muuttujien välisen

yhteyden voimakkuuden numeerisesti. Korrelaatiokerroin on standardoitu muuttujien välisen lineaarisen yhteyden estimaatti. Standardoinnin etuna on se, että hajonnoista ja suuruusluokista huolimatta, korrelaatio aina arvон väliltä $[-1, 1]$. (Salkind 2010)

Box plotissa jaetaan otos neljään yhtä suureen joukkoon. Box plotissa otosten keskiarvot ja poikkeavuudet korostuvat. Näin muodostetaan minimi, alakvartiili, mediaani, yläkvartiili ja maksimi. Piirtyvän ruudun sisään jää keskiarvon molemmin puolin 25% tuloksista eli kaksi kvartiilia. Laatikon ylä- ja alapuoleiset janat muodostuvat siten, että ne ovat 1,5 kertaa laatikon korkeus. Tulokset, jotka eivät osu tähän jaotteluun, luokitellaan poikkeamiksi. Poikkeamat piirtyvät box plotin ulkopuolelle. Box plotin muodostamisen periaate on esitelty kuvassa 5. (Salkind 2010)



Kuva 5. Box plotin muodostaminen

3 KÄYTETTÄVYYS JA VIKAANTUMINEN

3.1 Käytettävyyden määritelmä

Suomen työ- ja elinkeinoministeriön julkaisussa 21.11.2018 40/2018 Toimialaraportit Kaivosalalla mainitaan, että tällä toimialalla suoraan ja välillisesti tehtiin 2018 vuoden alusta noin miljardin euron edestä kehittämis- ja investointiohjelmia. (Vasara 2018, 47s.) Kaivostoimijat niin Suomessa kuin maailmallakin joutuvat nykyaikaistamaan ja automatisoimaan koneitaan ja prosessejaan pysyäkseen kilpailukykyisinä. Tämä laitteiden monimutkaistuminen nostaa laitteiden investointikustannuksia. Kohonneet investointikustannukset puolestaan asettavat koneilla korkeat vaatimukset toimintavarmuudesta ja käytettävyydestä. Tavoitteena on luonnollisesti saada paras mahdollinen tuotto investoinnilla. (Dhillon 2008, s. 52)

Monet tekijät vaikuttavat joko suorasti tai välillisesti kaivosprosessin toimintavarmuuteen. Louhittavan malmin laatu vaihtelee, joka vaikuttaa seuraaviin prosessivaiheisiin. Sää voi estää kaivostoiminnan, esimerkiksi sumu näkyvyyden heikkenemisen vuoksi tai helle laitteiden ylikuumentumisen takia. Räjähdyksien onnistuminen, voitelujärjestelmien toimivuus, laiterikot, vuodot linjastoissa tai viat laitteissa, jne. vaikuttavat kokonaisen kaivoksen toimintavarmuuteen. (Dhillon 2008, s. 52)

Käytettävyys -terminä voi puhekielessä saada monta erilaista merkitystä. Jos puhutaan koneiden käytettävyydestä, voidaan tarkoittaa joko sitä, kuinka miellyttävä laite on käyttää, taikka kuinka paljon kone on ollut niin sanotusti ajossa. Tässä työssä ei oteta kantaa käyttömukavuuteen, vaan käytettävyydellä tarkoitetaan työssä koneen saatavuutta.

Käytettävyys, huolto ja vikaantuminen kulkevat käsi kädessä. Toimintavarmuus lisää aina käytettävyyttä, kun koneet eivät seiso vioittuneina odottamassa huoltoa. Toimintavarmuus lähtee aina siitä liikkeelle, ettei koneen suunnittelussa, materiaaleissa, valmistuksessa tai asennuksessa ole tehty virheitä. Tästä on vastuussa laitetoimittaja, mutta käyttäjä on vastuussa huolloista ja käytöstä. Virheet näissä kahdessa kategoriassa laskevat toimintavarmuutta ja näin vaikuttavat myös käytettävyyteen. (Geitner 2006)

3.2 Käytettävyyden mittaaminen

Ensivaikutelma käytettävyyden laskemisesta on hyvin yksinkertainen, jaetaan vain käyttötunnit kokonaisajalla. Kuitenkin käytettävyyden taakse kätkeytyy valtava määrä erilaisia kaavoja ja kaavioita. Toimijoilla on omia tapojaan laskea itselleen käytettävyyttä ja tämän lisäksi käytettävyyttä voidaan laskea toimijan sisälläkin eri näkökulmista, esimerkiksi tuotannon ja kunnossapidon. Koneen käytettävyys ja toimintavarmuus voivat olla yksi kriteeri tehtäessä investointipäätöstä useiden koneiden välillä. (PSK 6201 2011, s. 7)

Koska eri toimijoiden etu ei ole, että mittauksissa ja määritelmissä on paljon variaatiota, teollisuuden kehitysyksikkö, PSK Standardisointi, tekee teollisuuden käyttöön standardeja kyseisistä aiheista. PSK 6201 -standardissa käytettävyys määritetään siten, että se on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon. Tässä käytettävyyden määritelmässä oletetaan, että käyttö tapahtuu tietyissä olosuhteissa ja vaadittavat ulkoiset resurssit ovat käytettävissä. (PSK 6201 2011, s. 7)

Pelkkä käytettävyyden laskeminen ei kuitenkaan tuo riittävää informaatiota laitteen käytöstä ja käyttäytymisestä. Tyypillisesti koneelle lasketaan myös käynti- ja käyttöaste sekä kunnossapidollinen ominainen ja toiminnallinen käytettävyys. (PSK 6201 2011, s. 7)

Käyntiaste lasketaan vertaamalla käyntitunteja kokonaisaikaan. Käyntiasteella saadaan kuvattua esimerkiksi koneeseen kohdistuvaa rasitusta. Käyntiastetta laskettaessa huomioidaan vain käyntitunnit määrällisesti. Laadullisesti käyntiasteen laskenta on käynnille täysin tunnoton. Toisin sanoen, tässä laskennassa ei huomioida mahdollista koneen kapasiteetin alentumaa. Tällainen alentuneen kapasiteetin käyntitilanne voi olla esimerkiksi murskainta jouduttaessa ajamaan pienemmällä kuormalla ylikuumenemisen vuoksi. Laskenta on esitetty kaavassa 1. (PSK 6201 2011, s. 7)

$$\text{käyntiaste} = \frac{\text{käyntitunnit}}{\text{tarkastelujakson pituus}} \quad (1)$$

Käyttöastetta laskettaessa käyntitunteihin lisätään käytön- ja kunnossapidon vaatima aika. Näin laskettu ajan summa jaetaan kokonaisajalla. Käyttöasteella kuvataan tarvittavaa aikaa, jotta voidaan tuottaa vaadittu määrä tuotetta. Kun huoltotoimenpiteen

lisätään käyntiaikaan, niin joutoaika, varallaolo ja ulkoisesta tekijästä johtuva toimintakyvyttömyys puolestaan vähennetään käyntiajasta käyttöastetta laskettaessa. Laskenta on esitetty kaavassa 2. (PSK 6201 2011, s. 7)

$$\text{käyttöaste} = \frac{\text{käyntitunnit} + \text{käytön vaatima aika} + \text{kunnossapidon vaatima aika}}{\text{tarkastelujakso}} \quad (2)$$

Koneille voidaan laskea vielä lisäksi kunnossapidollinen ominaiskäytettävyys, jota voitaisiin käyttää kunnossapidon kehittämiseen. Kunnossapidollista ominaiskäytettävyttä laskettaessa verrataan koneen tuotantoaikaa tuotantoajan ja kunnossapidollisen seisokkiajan summaan. Kunnossapidolliseen seisokkiaikaan lasketaan kaikki huollot, jotka tehdään murskaimen ollessa pois käynnistä, vaikka toimenpide toteutettaisiin seisakin tai ulkoisen toimintakyvyttömyyden aikana. Laskenta on esitetty kaavassa 3. (PSK 6201 2011, s. 7)

$$\text{kunnossapidollinen ominaiskäytettävyys} = \frac{\text{tuotantoaika}}{\text{tuotantoaika} + \text{kunnossapidollinen seisokkiaika}} \quad (3)$$

Kunnossapitoa puolestaan voidaan arvioida laskemalla murskaimille kunnossapidosta johtuva toiminnallinen käytettävyys. Tällöin laskennassa ei huomioida joutoaikana ja ulkoisen toimintakyvyttömyyden aikana tehtyjä huoltotoimenpiteitä. Laskenta on esitetty kaavassa 4. (PSK 6201 2011, s. 7)

$$\text{toiminnallinen käytettävyys} = \frac{\text{tuotantoaika}}{\text{tuotanto aika} + \text{seisokkien ulkopuolella suoritettu huolto}} \quad (4)$$

3.3 Vikadiagnostiikka

Ongelman ratkaisu on prosessi, jonka ensimmäinen vaihe on aina ongelman tunnistaminen ja ymmärtäminen. Edes tätä vaihetta ei pidä pitää itsestään selvyytenä. Joskus ongelma voi niin sanotusti hitaasti hiipiä prosessiin, jolloin siitä tulee ikään kuin osa normaalia tilaa. *Ainahan se pumppu on ääntänyt tuolleen, taikka ainahan tuossa koneessa tuo paine on vaihdellut.*

Kun ongelma on tunnistettu, kaikki siihen liittyvät vaikuttajat tulee tunnistaa. Jälleen kerran kuulostaa yksinkertaiselta. Mutta ihmiselle on tyypillistä ajattelu, joka on valikoivaa ja rajaavaa. Pyrimme ajattelussamme pysymään loogisilla poluilla ja ehkä

tarkentamaan näitä polkuja. Mutta haettaessa vaikuttavia tekijöitä ongelmaan, niin pitäisi kyetä lateraaliseen ajatteluun. Tällöin pyrittäisiin katsomaan laatikon ulkopuolelle. Etukäteen ei voi tietää, mitä kaikkia vaikuttajia sieltä laatikon ulkopuolelta löytyy. Yhtenä apukeinona lateraaliseen tunnistustyöhön mainittakoon aivoriihi. (Bono 1970, s. 16)

3.3.1 Juurisyyanalyysi, root cause analysis (RCA)

Juurisyy on kaiken pahan alku ja juuri, josta syy ja seuraus -tapahtumaketju alkaa. Yleensä juurisyyanalyysia käytetään, kun halutaan selvittää alkulähde tapahtumasta, joka koetaan negatiiviseksi. Tapahtuma voi olla esimerkiksi häiriö tuotannossa, henkilövahinko, tuotannon menetys, tuotteen laadun alenema tai ympäristövahinko. Juurisyyanalyysissa pyritään löytämään vastaus kysymykseen, miksi jokin tapahtuma on päässyt tapahtumaan. Pyrkimys on siis löytää syy näiden tapahtumien, eli oireiden, takaa. Tällöin päästään poistamaan ongelman aiheuttaja eikä resursseja turhaan käytetä oireiden hoitoon. (Mobley 1999. s.4)

Haasteena juurisyyanalyysia tehdessä voi olla se, että tutkijan omat ennakkoluulot tai käsitykset vaikuttavat lopputulokseen. Tämä täytyy pitää mielessä dataa esikäsiteltäessä, ettei sorruttaisi muokkaamaan dataa siten, että saadaan haluttu lopputulos. Analyysin tekijän täytyy käyttää vain faktoja, ei oletuksia. (Mobley 1999. s.4)

Juurisyyanalyysin kulku voidaan jakaa karkeasti neljään vaiheeseen, jotka ovat:

- kohdeongelman tunnistaminen,
- juurisyiden tunnistaminen,
- korjaavien toimenpiteiden kehittäminen
 - löydetään keino poistaa ongelman aiheuttaja ja estetään ongelman uusiutuminen ja
- tulosten dokumentointi.

Juurisyyanalyysissa ajatellaan, että syy ja seuraus -tapahtumaketju on viisiportainen. Kuvassa 6 on esitetty juurisyyanalyysin portaat ja seuraavaksi esitettävän esimerkin hahmotus. Portaiden hahmottaminen on selkeämpää, kun ne käydään lopusta alkuun päin. Käytetään esimerkkinä tapausta: auton kuljettajan paleleminen talvella. (Andersen, 2006)

Viimeisenä eli viidentenä portaana meillä on havaittavat oireet. Esimerkissä oire on auton kuljettajan paleleminen.

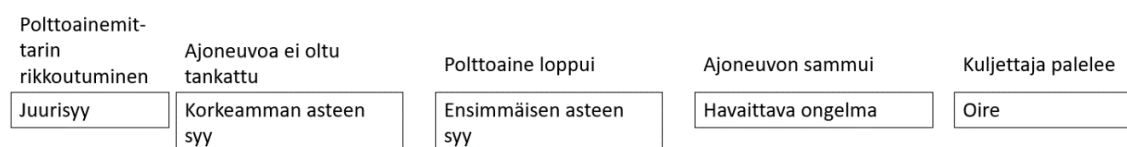
Neljäntenä portaana on havaittava ongelma. Eli ongelma, josta heti voidaan nähdä syy ja seuraus -suhde oireeseen. Auton kuljettajan palelemisoireen aiheuttanut ongelma on auton sammuminen kesken ajon talvella.

Kolmantena portaana on käsite: ensimmäisen asteen syy. Ensimmäisen asteen syy on sellainen syy, joka johtaa suoraan ongelmaan. Esimerkkitapauksessa olkoon polttoaineen loppuminen syy sille, että moottori on sammunut.

Toisella portaalla on käsite ylemmän asteen syy. Ylemmän asteen syystä seuraa ensimmäisen asteen syy. Ylemmän asteen syy ei suoranaisesti aiheuta ongelmaa. Ylemmän asteen syynä esimerkkitapauksessa on, ettei ajoneuvoa ole käyty tankkaamassa. Suoranaisesti ajoneuvon tankkaamatta jättäminen ei aiheuta kuljettajan palelemista. Ylemmän asteen syitä voi olla useampikin kuin yksi kappale.

Ensimmäisellä portaalla on itse juurisyy. Tässä tapauksessa täytyy löytyä selitys sille, miksi ajoneuvo on jäänyt tankkaamatta. Juurisyynä tällä kertaa olkoon polttoaineen määrämittarin vikaantuminen. Näin kuljettaja ei ole tiennyt polttoaineen todellista määrää ajoneuvossa.

Oireena oli kuljettajan paleleminen ja tämän perimmäisenä syynä oli polttoainemittari vika.



Kuva 6. Juurisyyanalyysin portaat.

Juurisyy-analyysin heikkous on siinä, että täytyy olla jo olemassa ongelma, johon tätä metodologia voidaan käyttää. Parempi vaihtoehto olisi se, että tunnistettaisiin mahdolliset ongelmat jo ennen niiden ilmenemistä ja kyettäisiin estämään ongelman synty kokonaan. (Andersen, 2006)

Minerals Engineering -lehdessä on julkaistu vuonna 2018 tutkimus simulointeihin perustuvasta vikadiagnostiikasta, jossa käytetty metodi oli ollut juurisyyanalyysi.

Simuloinnin etuna on se, ettei tutkimuksessa synny turvallisuusriskejä tai taloudellista vahinkoa. Käytetyn datan täytyy olla mahdollisimman realistista, jotta monimutkaisten prosessien mallit saadaan vastaamaan todellisuutta. Tutkimuksen kohteena oli ollut murskauspiiri, huomioiden kuljettimet, syöttimet, murskaimen, hydrosyklonin ja öljynkierron.

Prosessista oli luotu mallit, jotka sisälsivät häiriöitä ja epänormaaleja tapahtumia. Tutkimuksessa oli datan käsittelyn kautta päästy arvioimaan syy ja seuraus -suhteita sekä prosessin avainmuuttujia. Syy ja seuraus -suhteiden myötä oli päästy tarkastelemaan prosessitopologiaa. Prosessitopologiassa hahmotetaan pitempiä tapahtumaketjuja ja etsitään näennäisesti toisistaan riippumattomia tapahtumasarjoja. Topologiasta yhdessä diagnosoitujen avainmuuttujien kanssa oli päästy tekemään juurisyyanalyysi ja löydetty juurisyyt. (Wakerfield 2018)

Tutkimuksessa oli simuloitu kahta vikaantumista, tuotevirran partikkelikoon äkillinen muutos ja murskaimen terien ennen aikaista kulumista. Juurisyyksi partikkelikoon muutoksiin osoittautuivat kuulamyyllyn syötettävän veden määrä, kuulamyyllyn koko ja syötettävän partikkelikoon keskiarvo. Sisäosien ennen aikaisen kulumisen havaittiin aiheuttavan muutoksia kuulamyyllyn tehon tarpeessa. Näin voidaan diagnosoida kuluma nopeammin kuin seuraamalla tuotteen laatua. Tällä saavutetaan se, että alentunut suorituskky ei kestä kauaa ja taloudelliset menetykset minimoidaan.

Juurisyyanalyysin käyttöä ohjausjärjestelmien hälytysten tehokkaaseen käsittelyyn on tutkinut Klaus Julisch vuonna 2013 tekemässään tutkimuksessa *Clustering Intrusion Detection Alarms to Support Root Cause Analysis*. Ongelmaksi Julisch tutkimuksessaan nosti ohjausjärjestelmien hälytysten liian suuren määrän, jolloin operaattorit eivät reagoi toimenpiteitä vaativiin hälytyksiin. Suurissa tuotantolaitoksissa hälytyksiä saattaa tulla jopa tuhansia päivässä. On kuitenkin vain muutama kymmenen juurisyytä, jotka aiheuttavat noin 90% hälytyksistä.

Julischin tutkimuksessa esitettiin uudenlaista hälytysten ryhmittelymenetelmä, joka paremmin tukisi ihmisten luontaista kykyä tunnistaa ongelmien juurisyyt. Artikkelin esitti puoliautomaattisen prosessin tulviville hälytyksille. Prosessi koostui kahdesta vaiheesta: 1. juurisyyanalyysi, tunnistetaan juurisyyt hälytysten takaa ja 2. poistetaan juurisyy.

Juurisyyden poistolla oli kyetty vähentämään hälytyskuormaa jopa 13 prosenttiin alkuperäisestä määrästä. Tämä mahdollistaa korjaustoimenpiteiden tehokkaan kohdentamisen. Artikkelissa todettiin, että juurisyyanalyysi tulisi tehdä noin kerran kuukaudessa. (Julisch, 2003)

3.3.2 Pareto-analyysi

Pareto-analyysi on yksi perustyökalu puhuttaessa laadunvalvonnasta ja -hallinnasta. Pareto-analyysia pidetään tehokkaana analysointimenetelmänä verrattuna useaan muuhun tekniikkaan. Pareton etuna on sen keskittyminen ongelmiin, joiden kautta saadaan parhaiten parannettua prosessia. Pareto näyttää ongelmat suuruusjärjestyksessä vaikutukseen tai esiintymistaajuuteen perustuen. Pareto-analyysin periaate on, että 20 prosenttia vioista aiheuttaa 80 prosenttia ongelmista. Tässä Pareto todistaa vääräksi vanhan viisauden siitä, että kaikki vaikuttaa kaikkeen. Pareton mukaan vain muutama tekijä vaikuttaa ja näihin keskittymällä saadaan enemmän vaikutuksia aikaan. (Ziarati, 2015)

Pareton pyrkimyksenä olisi ehkäistä se, että tietyn ongelman poistaminen pahentaa muita ongelmia. Ja aivan ongelmaton Pareto-analyysi ei välttämättä ole. Metodi on muun muassa tunnoton prosessikokonaisuuden optimoinnille. Esimerkiksi voi käydä niin, että Pareto-analyysillä saadaan hyvinkin suoranainen ratkaisu ongelmaan. On haastavaa yhdistää Pareto-analyysin ratkaisut prosessin optimointikriteereihin, joten kompromissit lopputulosten toteutuksessa ovat yleisiä. (Kasprzak, 2001)

Yksinään Pareto-analyysi ei ole tehokas työkalu laadun parantamisen suunnitteluun. Kun Pareto vastaa kysymykseen, mitkä ovat suuret ongelmat, niin tarvitaan vuokaavio ensin kertomaan se, mitä prosessissa tehdään ja mitä siinä tapahtuu. Pareto tunnistaa ongelman ja syy ja seuraus -analyysi tunnistaa ongelman aiheuttajan. Histogrammeilla päästään tarkastelemaan prosessissa ilmeneviä vaihteluita ja trendeistä tapahtumataajuuksia. Pareto ei anna vastausta muuttujien välisistä suhteista, joten tämä tarkastelu tulee tehdä erikseen. Kun halutaan parantaa tuotteen laatua tai prosessin tehokkuutta, tulee tarkastella myös merkittäviksi havaittujen muuttujien säätöstrategiaa. Täytyisi siis olla aina tietoinen siitä, mitä säädetään ja miten. (Karuppusami, 2006)

Vuonna 2001 on julkaistu Journal of Quality in Maintenance Engineering -lehdessä tutkimus ”*Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic*

scatterplots”. Tutkimuksessa tarkastellaan Pareto-analyysin puutteita ja pohditaan sitä, kuinka Pareto-analyysia tulisi kehittää. Tutkimuksessa oli käytetty chileläiseltä kaivokselta saatua dataa.

Tutkimuksessa pohditaan, kuinka Pareto-histogrammeja käytetään yleisesti määrittämään ylläpitoprioriteetit sijoittamalla laitteiden vikakoodit niiden suhteellisen hinnan tai seisokin mukaan. Tällaiset histogrammit eivät kuitenkaan pysty helposti tunnistamaan dominoivia muuttujia, jotka vaikuttavat seisokki- ja korjauskustannuksiin. Dominoivia muuttujia ovat esimerkiksi vikaantumistaajuudet, keskimääräiset seisokkien kestot ja huoltokustannukset ja vikaantumisen syyt. Tämän lisäksi Pareto-analyysi ei tunnista yksittäisiä tapauksia, joilla on korkeat korjauskustannukset. (Knights 2001)

Tutkimuksessa Pareto-analyysia oli kehitetty siten, että viat määritettiin joko kroonisiin, akuutteihin tai sekä kroonisiin että akuutteihin vikoihin. Jaottelun avulla voidaan tunnistaa viat, joista aiheutuu suhteellisen vähän korjauskustannuksia tai seisokkeja. Mutta ne aiheuttavat usein toistuvia toimintahäiriöitä, joista seuraa tuotannonmenetys. Tutkimuksessa korostettiin sitä, miten tällä jaottelulla voidaan päästä selville vikojen juurisyistä ja löytää korjaavat toimenpiteet. (Knights 2001)

Perinteisen Pareto-analyysin puutteeksi artikkelissa mainitaan trendien vertailun vaikeus. Perinteisessä Pareto-analyysissa vika luokituu tarkastelujakson mukaiselle paikalle. Koska suhteellinen sijainti voi muuttua eri ajanjaksoissa, vertaileminen on vaikeaa. Mikäli häiriötekijöiden trendejä voisi vertailla eri ajankohdissa, kunnossapidon tehokkuutta voisi arvioida visuaalisesti. Vertailtavuutta varten tutkimuksessa esitettiin logaritminen laskentamalli analyysiin. (Knights 2001)

3.3.3 Vikavaikutusanalyysi (VVA), Failure mode and effects analysis (FMEA)

Vikaantuminen voi tapahtua kulumisen, käytön tai suunnitteluvirheen seurauksena. Kun vioittumistapa on määritelty, kunnossapitostrategia voidaan suunnitella. (Uusitalo 2000, s.31) Vikavaikutusanalyysi on työkalu, jolla ongelmat voidaan tunnistaa jo ennen niiden ilmenemistä. Menetelmässä on tarkoitus tunnistaa ja ennaltaehkäistä prosessin yleisimmät häiriötilat ja näiden häiriöiden vaikutus, kokonaiskuva vikaantumistavoista ja vikaantumisväleistä selvitetään. Vikavaikutusanalyysia käytetään esimerkiksi silloin, kun prosesseille tai koneille tehdään toimintavarmuusanalyysia tai huolto-ohjelmia.

Ero edellä esiteltyyn juurisyyanalyysiin voidaan esittää selvästi tarkastelemalla taulukosta 1. kysymyksiä, joihin nämä kaksi menetelmää vastaavat.

Taulukko 1. Analyysien kysymysasettelu

Juurisyyanalyysi	Vikavaikutusanalyysi
Miksi jokin meni pieleen?	Mikä voi mennä pieleen?

Kuten juurisyyanalyysissäkin, vikavaikutusanalyysi -prosessi lähtee liikkeelle tarkasteltavaan prosessiin tutustumisella. Prosessin ymmärtämisen lisäksi tavoitteena on ymmärtää mahdollisimman hyvin viat ja häiriöt, joita voi ilmetä. Informaatiotaulukko on yksi työkalu, jota käytetään vikojen ja häiriöiden analysoimiseksi. Taulukossa tyypillisesti on sarakkeet: Toiminto, Vika, Vioittumistapa ja Vaikutukset.

Tärkeää on tunnistaa prosessiin kuuluvien laitteiden ja osien vikamuodot. Tunnistamista helpottaa se, että suuret kokonaisuudet jaetaan pienemmiksi osatekijöiksi. Jokaisen vikamuodon osalta tulee selvittää vaikutus ja vakavuus.

Jälleen kerran itse tarkoitus ei ole korjata ja huoltaa vian oiretta, vaan tavoitteena on löytää syyt vikojen takaa. Koska vikavaikutusanalyysi tehdään ennakoimaan tulevaisuutta, kaikki mahdolliset syyt pitää tunnistaa jokaiselle vikamuodolle. Juurisyyanalyysissä tulisi huomioida, ettei jokaisen syyn todennäköisyys ei ole sama. Tämän vuoksi todennäköisyys täytyy arvioida. Todennäköisyydestä vikavaikutusanalyysissä muodostetaan syyille kerroin.

Ei ole oletettavaa, että prosessin kaikki viat havaitaan välittömästi vian ilmettyä. Tästä syystä vikavaikutusanalyysissä vian havaitsemisen todennäköisyydestä täytyy tehdä arvio ja tätä kautta saadaan uusi kerroin vialle analyysiin. (SFS-EN IEC 60812:2018:en)

Lopputuloksena analyysissä saadaan laskettua vikamuodon vaikutus, kun huomioidaan vian todennäköisyys, havaitsemisen todennäköisyys ja vikamuodon vakavuus. Muuttujat yhdessä muodostavat riskille prioriteettinumeron. Vaikutuksen perusteella päätetään, että millaisia jatkotoimenpiteitä tarvitaan. Jatkotoimenpiteet voivat olla esimerkiksi ennakoiva huolto, laitteen / osan seuranta tai jopa uudelleensuunnittelu. (Moblely 1999, s.7)

Jos verrattaisiin juurisyyanalyysissä käytettyä esimerkkiä autonkuljettajan palelemisesta vikavaikutusanalyysiin, nyt ennakolta pyrittäisiin keksimään kaikki mahdolliset syyt auton sammumiselle kesken ajon. Syitä voisi olla esimerkiksi polttoaineen loppuminen, polttoaineen suodattimen tukkeutuminen tai moottorin rikkoutuminen. Näille syille tehtäisiin arvio todennäköisyydestä ja tämän perusteella tehtäisiin päätös toimenpiteistä, joilla varmistetaan se, ettei kuljettaja joudu palelemaan talvella.

Useimmiten vikavaikutusanalyysia käytetään työkaluna turvallisuuden parantamiseen, mutta tämä ei ole ainoa käyttökohde. Vuonna 2016 julkaistiin tutkimus, jossa tarkasteltiin kustannuspohjaisesti tehtyä vikavaikutusanalyysia kiviteollisuuden laadun valvontaan. Tutkimuksessa osoitettiin, kuinka vikavaikutusanalyysi on myös tehokas työkalu laadunhallinnassa. Tässä vikavaikutusanalyysissä huomioitiin virheen vakavuus, esiintymistiheys, havaittavuus sekä aiheuttamat kustannukset. Tutkimuksessa oli lähdetty liikkeelle vikojen tunnistuksesta ja selvitetty vikaantumisen syyt. Vioista selvitettiin vaikutukset ja minkälaisilla toimenpiteillä vikaantuminen olisi saatu estettyä. Lopuksi jokaiselle vikaantumiselle oli laskettu hinta ja tämän mukaan määritetty prioriteetti. Lopputuloksena tutkimuksessa mainitaan, kuinka suuri vaikutus käsiteltävän kiven muodolla ja mitoilla on tuotannon tehokkuuteen. (Jahangoshai 2017)

Vuonna 2003 julkaistiin Advanced Engineering Informatics -lehdessä Rhee ja Ishiin artikkeli vikavaikutusanalyysien laskemisesta elinkaarikustannusten näkökulmasta. Edellä esitetyssä Jahangoshain ja kumppaneiden artikkelissa kustannustehokkuutta laskettiin lähtökohtaisesti tuotannon menetysten kautta. Rhee ja Ishii (2003) tutkimuksen tavoitteena oli vertailla ja löytää eri suunnitteluvaihtoehtojen elinkaarikustannuksia. Näin luodun VVA:n hyödyiksi nähdään elinkaarikustannusten arvio, itse VVA ja toteutettavan huoltopolitiikan arvio. Suunnitteluvaiheessa elinkaarikustannusperusteinen VVA on tehokas työkalu vertailtaessa järjestelmien kilpailevia malleja.

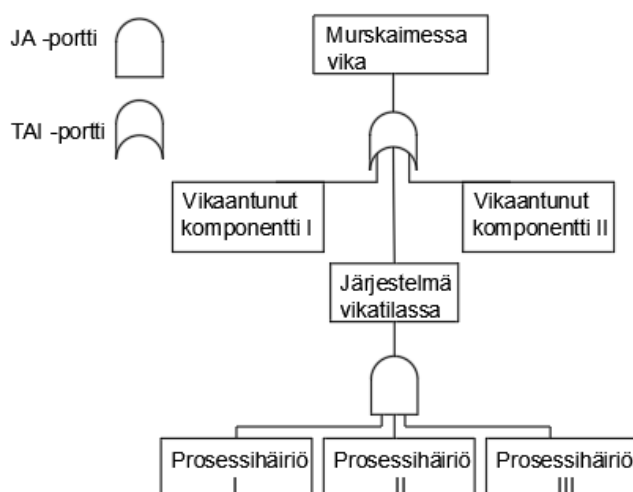
Tutkimuksen sovelluskohteena oli Monte Carlo -simulaatio hiukkaskiihdyttimelle. Tutkimustuloksena todettiin, että elinkaarikustannuksiin perustuvalla VVA:lla pystytään alentamaan kustannuksia. Säästöjä saadaan tapaturmien ennaltaehkäisystä, optimoiduista huoltoaikatauluista ja kohonneesta käytettävyydestä. (Rhee & Ishii 2003)

3.3.4 Vikapuuanalyysi (VPA), Fault tree analysis (FTA)

Vikapuuanalyysi, kuten vikavaikutusanalyysikin, tutkii mahdollisia vikaantumia. Mutta sillä voidaan myös analysoida jo tapahtuneita vikaantumisia niiden korjaamiseksi. Vikapuun erityisenä etuna on se, että sillä kyetään hahmottamaan yhdistelmät, jotka aiheuttavat vikaantumisen. Vaikuttavia tekijöitä ilmiöön ovat ulkoiset tekijät, inhimilliset virheet ja laiteviat. Vikavaikutusanalyysin tuloksena voidaan päätyä tekemään tarkempi turvallisuusanalyysi, jolloin voidaan päätyä käyttämään vikapuuanalyysia. (Berk 2009, s. 37)

Vikapuuanalyysia pidetään työläänä ja lopputuloksen laadullisuus riippuu voimakkaasti työryhmän ilmiön tuntemuksesta. Sitä laadukkaampi vikapuuanalyysi saadaan tehtyä, mitä paremmin työryhmä kykenee nimeämään ei-toivottuja tapahtumia ja hahmottamaan näiden syitä. Monimutkaisiin systeemeihin vikapuuanalyysi saattaa sisältää satoja, jollei jopa tuhansia, tapahtumia ja olosuhteita. Mitä laadukkaampi vikapuuanalyysi tehdään, sitä enemmän tarvitaan laskentakapasiteettia. Vikapuuanalyysissa voidaan ottaa huomioon vikaantumisten todennäköisyys, vikaantumisreitit sekä erillisten vikaantumisten välinen aika. (Berk 2009, s. 37)

Vikapuuanalyysissä huomio keskitetään yhteen huipputapahtumaan. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että alussa huipputapahtuma määritellään mahdollisimman tarkasti. Vikapuuanalyysi on graafinen analyysitekniikka. Pääsääntöisesti vikapuu koostuu TAI- ja JA- porteista. TAI- portin ulostulo tapahtuu, jos jokin sisääntulo toteutuu. JA- vaatii sen, että kaikki sisääntulot toteutuvat. Yksiselitteistä symboliikkaa ei kirjallisuudesta löydy. Joten tehtäessä erilaisilla ohjelmistoilla analyysia, käytettyjen symbolien tarkoitus tulee varmistaa. Vikapuun ulkoasun hahmotelma on esitetty kuvassa 7. Hahmoteltaessa käsin vikapuita, usein saadaan hahmoteltua enemmän mahdollisia vikaantumisen syitä. (Berk 2009, s. 37)



Kuva 7. Vikapuun hahmotelma

Iranissa Khoyn sementtitehtaalla on tehty vuonna 2013 vikapuuanalyysi onnettomuuksien syistä murskausasemalla ja seulomolla. Tutkimuksessa käytettiin 200 tunnin ajalta kerättyä dataa. Vikapuuanalyysissä tarkasteltiin murskaimien, kuljetinsysteemien sekä murskaamo- ja seulomo-osastojen vikaantumisia. Tutkimuksessa laskettiin todennäköisyydet vikaantumiselle ajan suhteen, kun huoltoja ei toteuteta ajan kuluessa. Tutkimuksen lopputuloksena todettiin, että kuljettimet ovat todennäköisimmin vikatilassa tutkituista systeemeistä. Vikapuuanalyysin tulosten perusteella oli tehty huolto-ohjelmaan muutosehdotuksia, jotta saataisiin vikaantumistodennäköisyys alhaisemmaksi. (Gharahasonlou 2014)

Safety Science -lehdessä julkaistiin vuonna 2014 artikkeli, jossa käsiteltiin Yhdysvalloissa avolouhoksilla kuorma-autoille tapahtuneiden kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien vikapuuanalyysia. Kuorma-autojen onnettomuuksien vikapuuanalysointiin oli päädytty, koska kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa kuorma-auto-onnettomuuksien osuus oli huomattavasti suurempi verrattuna muihin kaivoslaitteisiin.

Zhangin (2014) tulokset osoittivat, että puutteellisesti suoritettavat ajoonlähtötarkastukset ja laiminlyöty ajoneuvojen huolto olivat kaksi juurisyytä onnettomuuksien takana. Tutkimuksen tuloksissa korostettiin sitä, että kuinka hyödyllinen ja tehokas menetelmä vikapuuanalyysi on onnettomuuksien juurisyiden tunnistuksessa. (Zhang 2014)

3.3.5 Kuntotarkastukset

Määräaikaistarkastukset ovat erittäin tärkeä osa huoltopolitiikkaa. Tarkastusten tärkeys korostuu erityisesti koneista riippuvaisissa tuotantoprosesseissa. Näin pyritään tunnistamaan vikaantumiset ajoissa ilman, että vikaantumisista seuraisi suuria taloudellisia tappioita. Tarkastusten yhteydessä suoritetaan erilaisia toimenpiteitä, esimerkiksi visuaalisesti havainnoidaan kohdetta, vaihdetaan määräajan välein komponentteja tai voidellaan kohteita, joissa esiintyy kitkaa. (Gölbasi & Demirel 2017)

Koneiden ylläpitokustannukset ovat usein ongelmallinen kysymys. Koneita tulee huoltaa, josta seuraa kustannuksia. Mutta myöskaan niin sanotusti ylihuoltaminen ei ole kustannustehokasta. Tarkastuksista muodostuu kustannuksia koneiden ollessa pois käytöstä tarkastusten ajan. Mutta pitkällä aikavälillä tarkastukset tuovat taloudellista hyötyä, mikäli niillä voidaan estää laiterikkoja. Tarkastusvälit tulisi optimoida siten, että minimoidaan taloudellinen vaikutus. (Gölbasi & Demirel 2017)

Vuonna 2017 Computers & Industrial Engineering -lehdessä julkaistiin artikkeli, joka käsitteli kaivosteollisuuden koneiden tarkastusvälien optimointiin kehitettyä algoritmia. Tutkimuksessa tarkastelu suoritettiin kahdelle laahakaivinkoneelle. Algoritmi muodostui suorista ja välillisistä kustannuksista, komponenttien vikaantumistaajuuksista ja toteutuneista huolloista. Simulointialgoritmin edistyksellisyys tuli siitä, että algoritmi huomioi kokonaisia järjestelmäkoonpanoja ja samaan aikaan yksittäisten komponenttien toiminnallisuutta. Simulointialgoritmi kykenee huomioimaan todennäköisyydet, että vikaantuminen havaitaan ennen seuraava määräaikaistarkastusta. Tuloksena tutkimuksessa huoltokustannuksia laahakaivinkoneilla pystyttiin laskemaan 5,9 % ja 6,2 %. Alkuperäinen tarkastusväli oli 160 tuntia, joka pystyttiin muuttamaan toisella koneella 184 tuntiin ja toisella 232 tuntiin. Tutkimuksessa todettiin, että simulointialgoritmia tulisi vielä kehittää huomioimaan varaosien ja huoltohenkilöstön saatavuus sekä tuotantomäärien muutokset. (Gölbasi & Demirel 2017)

4 TUTKIMUKSEN ETENEMINEN JA TULOKSET

4.1 Käytetyn datan esittely

4.1.1 Asiantuntijahaastattelut

Kaikki asiantuntijahaastattelut on suoritettu keväällä 2019 diplomityön aikana. Asiantuntijoita on haastateltu Terrafamelta huolto- ja tuotanto-organisaatiosta. Diplomityön alussa toteutettiin ekskursio Siilinjärven Yaran kaivoksella, koska heillä on käytössä samanlainen murskain kuin Terrafamen kaivoksella. Yaran kaivokselta etsittiin referenssiä toimintamalleihin ja vikaantumistaajuuksiin. Tämän lisäksi laitetoimittajien edustajia on haastateltu Sandvik Mining and Construction Oy:ltä ja Kontram Oy:ltä.

4.1.2 Pintatutkien mittaukset

Pintatutkien luotettavuuden selvittelyä varten vertailtiin 2520 mittaustapahtuman keskinäistä erotusta. Vertailuaikaväli oli 23.2.2019 kello 06.00 – 24.2.2019 kello 24.00, mittaustaajuutena oli yksi minuutti. Mittaustulokset kerättiin ValmetDNA – järjestelmästä.

4.1.3 Vikataajuudet

Vikaantumistaajuuksia varten kerättiin aikavälillä 1.12.2017 – 7.3.2019 tietoa Maximosta ja huoltokorteista. Vikaantumistaajuuksia kerättiin kolmesta lähteestä:

1. Kunnossapitotöiden seuranta
 - a. saadaan selville murskaimilla esiintyvien vikojen laatu, kesto ja vaikutus
2. Terien halkeamistaajuus
 - a. terän halkeaminen on itsessään jo vika
 - b. yrityksen sisällä oletetaan, että haljenneella terällä ajaminen aiheuttaa murskaimessa lisää vikaantumisia
3. Varaosakulutus
 - a. Jos osa tarvitsee vaihtaa, tarkoittaa se, että edellinen on vikaantunut
 - b. Terrafamen malminkäsittelyn ja kasanpurun kunnossapidon päällikkö määrittä kuusi hienomurskaimien varaosaa, joiden kulutuksesta haluttiin lisätietoa

Tähän työhön on kerätty Terrafamen huolto-organisaation henkilöstön ohjeistamana tarkasteluun Maximosta työpyynnöt, joihin on merkitty vian tyyppiä joko välitönvika tai siirrettyvika. Tarkastelujaksolla oli välittömiä ja siirrettyjä vikoja ollut yhteensä 1129 kappaletta.

Terityksestä täytetään aina terityskortti, johon kirjataan terän ajotunnit ennen vaihtoa ja merkitään, mikäli terässä on halkeama. Kirjauksesta ei voi päätellä halkeaman laajuutta. Tämän vuoksi käsitellään kaikkia korteissa ilmoitettuja halkeamia yhtä suurella painotuksella. Terityskortteja oli tarkastelujaksolta 92 kappaletta.

Varaosien kulutusta Terrafamella pystyy seuraamaan tarkastelemalla kyseisen artikkelin varastoinnin investointitietoja Maximo -järjestelmästä. Jotta varastolta huolto-organisaatio saa varaosan käyttöönsä, varaosa täytyy kuitata haetuksi ja merkitä järjestelmään mihin varaosa kohdennetaan. Terrafamen malminkäsittelyn ja kasan purun mekaanisen kunnossapidon päällikkö määrittä kuusi hienomurskien varaosaa, joiden kulutuksesta kunnossapito halusi tarkempaa tietoa. Kyseiset osat olivat:

- murskaimen hattu,
- murskaimen huippulaakeri,
- murskaimen jalkalaakeri,
- murskaimen runkolaakeri,
- murskaimen pölytiiviste ja
- murskaimen pääakselin holkki.

Erittäin tärkeää on huomioida, ettei vikaantuminen ole tapahtunut siinä murskaimessa, mille varaosan varastotransaktion kohdennus on kirjattu. Varastotransaktion kohdennus kirjataan sille murskaimelle, mihin rikkoutunut osa olisi seuraavaksi terityskierrossa mennyt.

4.1.4 Huippulaakerirasva määrän ja kulutuksen mittaus

Huippulaakerirasvan kulutusta arvioitiin varastoinventaarioiden kautta Maximo -järjestelmästä aikavälillä 1.1.2018 – 15.3.2019. Huippulaakerissa käytetään Gease tribol 3020 -rasvaa, jota on keskusvarastolta saatavissa kahdessa eri pakkauskoossa (18kg ja 190kg). Huippulaakerissa on käytetty kolmea erilaista viskositeettiluokkaa, joiden

keskinäisessä kulutuksessa ei havaittu merkittävää eroa tarkasteluvälillä. Tämän vuoksi kulutuksessa ei erikseen mainita käytetyn rasvan viskositeettiluokkaa.

4.1.5 Käyttöaste

Diplomityössä käytettävät käyttöasteet on saatu Terrafamen tuotanto-osaston tutkimusinsinööritä. Vuosittaista käyttöastetta laskettaessa tarkastellaan murskaimen sähkömoottorin ottotehoa tunnin keskiarvosta, joten mittauspisteitä tarkastelujaksossa on 8737 kappaletta. Mikäli sähkömoottorin ottoteho on ollut yli 100 kW, tällöin tunti luokitellaan ajetuksi. Mikäli keskiarvo on alle 100 kW, tulkitaan murskaimen olleen pois ajosta.

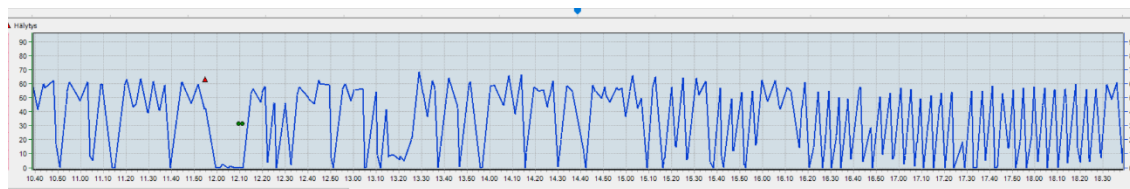
4.1.6 Murskaimien paineilman tarkastelu

Murskaimien ilmanpaineen mittausta tutkittiin havainnoimalla kuuden murskaimen ilmanpainetrendiä 150 päivän ajalta. Tarkasteluun valittiin murskaimet sillä perusteella, että murskaimet 342MRK00099, 342MRK0010 ja 342MRK0012 ovat eteläisessä piirissä, ja murskaimet 342MRK0004, 342MRK00005 ja 342MRK0011 ovat pohjoisen piirin murskaimia. Murskaimet 342MRK0011 ja 342MRK0012 ovat kolmannen vaiheen murskaimia, ja murskaimet 342MRK0004, 342MRK0005, 342MRK0009 ja 342MRK0010 ovat neljänneistä vaiheesta. Lisäksi tarkasteluun valittiin vierekkäisiä murskaimia oletuksella, että ne ovat paineilmajärjestelmässään kytkeyty peräkkäin.

4.2 Tutkimuksen lähtötiedot

Tämä diplomityö tehtiin Terrafamen kaivoksen huolto-organisaation toimeksiantona. Huolto-organisaation toive oli se, että hienomurskainten malminpinnan tason vaihtelun syyt selvitettäisiin. Pinnanvaihtelut ovat ajoittain nopeita ja aggressiivisia. Huolto-organisaation olettaamus on se, että mikäli murskaimien pinnanvaihtelu saadaan tasaantumaan, niin murskaimien käytettävyys ja toimintavarmuus nousevat.

Kuvassa 8 on esitetty, minkälaisesta pinnanvaihtelusta on kysymys. Kuvasta voidaan havaita, että murskaimen malmipatjan pinta on voimakkaassa sahaavassa liikkeessä. Tarkastelun loppuvaiheessa pinta nousee ja putoaa taas nolleen jopa neljä kertaa kymmenen minuutin aikana.



Kuva 8. 342MRK0009 pinnanmittaus 28.2.2019 klo 10.40 – 18.40.

Tulokset -luvussa esitetään tulokset siinä järjestyksessä kuin ne työtä tehdessä tulivat esiin. Tulosten välillä on selitys, minkä vuoksi on päädytty kunkin tuloksen perusteella seuraavaan tutkimuskohteeseen. Työn eteneminen esitetään juurisyyanalyysinä, joka täydentyy jokaisen tuloksen jälkeen. Lopputulos on nähtävissä suoraan luvusta 4.9 Juurisyy pinnanvaihteluun, siilojen pieni kapasiteetti.

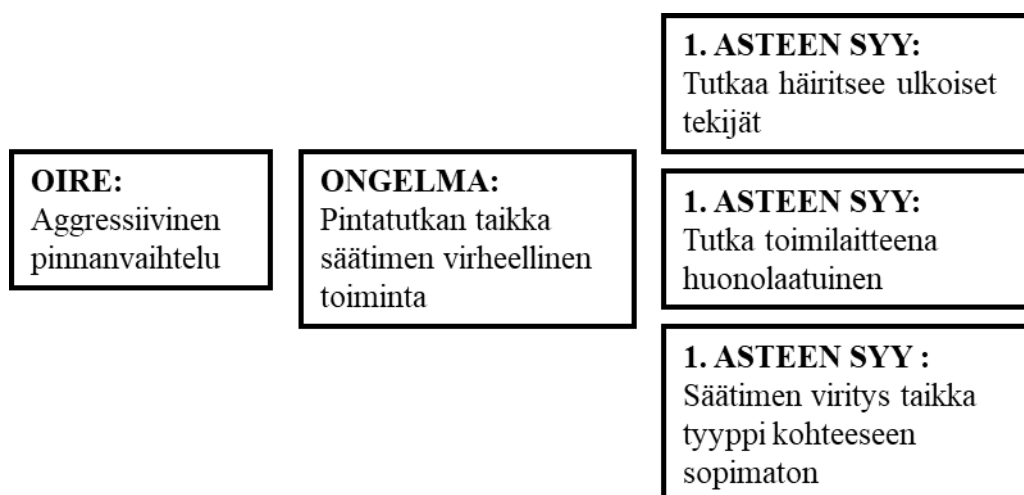
Ensimmäisenä kohtana juurisyyanalyysiketjussa on oire, kuva 9. Toimeksiannossa oli mahdollista ajatella kaksi eri asiaa oireeksi. Huolto-organisaatio näki oireeksi korkean varaosakulutuksen, joka johtui pinnanvaihtelu ongelmasta. Näiden kahden tapahtuman välistä yhteyttä ei työtä aloittaessa kuitenkaan oltu pystytty todistamaan. Koska analyysia tehdessä tulee pitäytyä varmoissa tosiasioissa, oireeksi nostettiin aggressiivinen pinnanvaihtelu ja lähdettiin selvittämään sen syitä.

OIRE:
Aggressiivinen
pinnanvaihtelu

Kuva 9. Juurisyy, alkuvaihe.

4.3 Ongelman tunnistaminen ja hypoteesi I asteen syistä

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa pyrittiin tunnistamaan ongelma, joka aiheutti pinnanvaihtelua. Työn toimeksiantajalla ei ollut hypoteesia pinnanvaihtelun syistä. Alussa listattiin kaksi mahdollista ongelmaa, kuva 10, joko tutka tai säädin toimii virheellisesti. Mikäli tutka toimii virheellisesti, se ei anna todellisuutta vastaavia mittaustuloksia. Mikäli säädin toimii virheellisesti, se ei kykene pitämään pintaa määrättyssä tavoitearvossa. Ensimmäisen asteen syitä arvioitiin kolme kappaletta. Ensimmäisenä oletamus oli, että tutkan toimintaa häiritsee ulkoiset tekijät, kuten keilaan lentävät kivet. Toisena oletamuksena oli, että tutka toimilaitteena ei sovellu tällaisen kohteen mittaamiseen. Kolmantena oletamuksena oli, että säätimen viritys tai tyyppi on kohteeseen sopimaton.



Kuva 10. Juurisyyyn 1. asteen syy.

4.4 II asteen syyt

4.4.1 Pinnanmittauksen luotettavuus

Tutkimuksen alussa saatiin pinnanmittauksen toimivuudesta monenlaisia mielipiteitä Terrafamen henkilökunnalta. Yksi suuri syy epäluottamukseen on pinnanmittauksen historiassa. Pinnanmittaus on ollut menneisyydessä epäluotettava ja tämä mielikuva on juurtunut tiukasti henkilökuntaan. Mittauksissa havaittavia nopeita piikkejä, kuva 8, osa henkilökunnasta pitää mittaushäiriöinä. Selityksenä piikeille pidetään tutkan keilaan lentäviä malmia tai mittausvirhettä. Epäluottamusta pinnanmittaukseen aiheuttaa malmin epätasainen jakautuminen murskaimessa. Riippuen siitä, mihin kohtaan syötin pudottaa malmin murskaimessa, myös sillä laidalla malminpinta nousee korkeammalle kuin laidalla, johon syötin ei pudota malmia. Koska tutka toimii pistemittauksella, se ei anna täydellistä kuvaa koko murskaimen pinnantasosta.

Malminsyöttönopeus murskaimeen vaihtelee ja näin ollen myös malmivirran lentorata murskaimessa ei ole vakio. Tämä on aiheuttanut ongelmia pinnanmittauksessa, kun malmivirta osuu tutkan keilaan ja malmipinnan sijaan tutka mittaa etäisyyden malmivirtaan. Luotettavuutta mittaukseen on haettu asentamalla jakajat murskaimiin. Jakajilla saadaan malmi nimensä mukaan jakautumaan tasaisemmin murskaimiin ja estetään syöttimeltä murskaimeen putoavan malmin lentoradan muutokset.

Pintatutkalla on käytössä keväällä 2019 kahden sekunnin mittausväli. Pinnanmittauksiin on asetettu vaatimus viisi sekuntia kestävästä yhtäjaksoisesta pinnan mittauksesta, jotta mittaustulos piirtyy valvomo näkymään. Näin mittauksesta poistetaan yksittäiset kivet,

jotka pudotessaan syöttimeltä murskaimeen osuvat tutkan keilan eteen ja näin aiheuttavat mittaushäiriöitä.

4.4.2 Tutkien suuntaus

Tutkien suuntauksiin ei luoteta prosessioperaattorien taholla ja tästä seuraa epäluottamusta mittaustuloksiin. Vallalla on uskomus, että huoltojen yhteydessä tutkien suuntaukset muuttuvat. Osassa huolloista, kuten terityksissä, murskaimen yläosa joudutaan purkamaan. On mielikuva, että huoltojen jälkeen pintatutkia ei suunnata osoittamaan samaan kohtaan kuin ne olivat ennen huoltoa. Ja näin ollen mittausta ei pidä paikkaansa. Toimintatavaksi Terrafamella on otettu murskaamalla, että sama murskaimen kansi asennettaisiin aina takaisin samaan murskaimeen. Näin kannessa kiinni oleva tutka osoittaisi aina oikeaan kohtaan. Tämä toimintatapa ei ole varma ja edelleen on epäily, että kannet vaihtelevat murskaimien välillä.

Maaliskuussa 2019 toteutettiin murskaimien pintatutkien suuntauksen tarkastelu. Tarkastelu toteutettiin murskaimissa MRK0001 – MRK0005. Näiden viiden murskaimen osalta havaittiin, että suuntauksissa oli eroavaisuuksia. Suuntauksen tarkastamisesta teki erittäin haastavaa se, että neljässä viidestä tutkasta ei mittaustuloksesta päivittynyt tutkaan asennettavaan päätteeseen. Tutka kuitenkin mittasi todistettavasti koko ajan, koska pinnanvaihtelut piirtyivät DNAClientiin. Ilmeisesti tämä ongelma on ollut jo aikaisemminkin havaittavissa, ja se on aiheuttanut suuria haasteita tutkien suuntaamiselle.

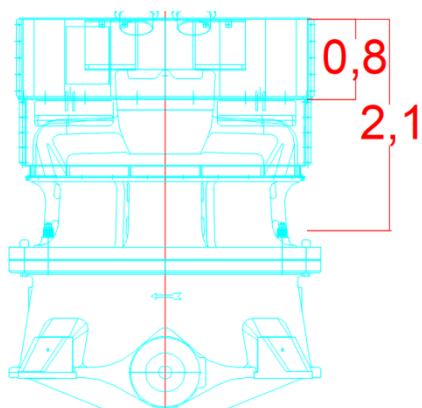
4.4.3 Tutkien asetukset

Kuten aikaisemmin mainittiin, tutkille määritetään 0 ja 100 prosentin taso murskaimessa. Tutkimuksentekohetkellä säädön muuttamiseen tarvittava kenttäpääte oli käytössä useilla henkilöillä eri organisaatioissa. Tämä ja se, ettei tehdyistä muutoksesta pidetty kirjaa, aiheutti sen, etteivät prosessinoperaattorit tiedneet murskaimen asetuksia.

Taulukossa 2. on esitetty hienomurskaamo 1:llä (HIMU1) 22.2.2019 pintatutkaan asetetut rajat, 0 % ja 100 %. Taulukon toisessa ja kolmannessa sarakkeessa esitetty metrimäärä on malmipinnan etäisyys tutkasta. Keltaisella on korostettu lyhin ja punaisella pisin mittaustulos. Kuvassa 11 havainnollistetaan sitä, mille välille mittaukset asettuvat murskaimissa.

Taulukko 2. HIMU1:llä mitatut pintatutkien täyttöasteen minimin ja maksimin etäisyys tutkasta.

Murskaimen numero	0 % [m]	100 % [m]	Toteutunut mittausväli [m]
1	2	0,9	1,1
2	2	0,9	1,1
3	1,8	1	0,8
4	1,85	1	0,85
5	1,85	1	0,85
8	1,85	1	0,85
9	2,1	0,9	1,2
10	1,85	1	0,85
11	2	1	1
12	1,8	0,8	1
keskiarvo	1,91	0,95	0,96



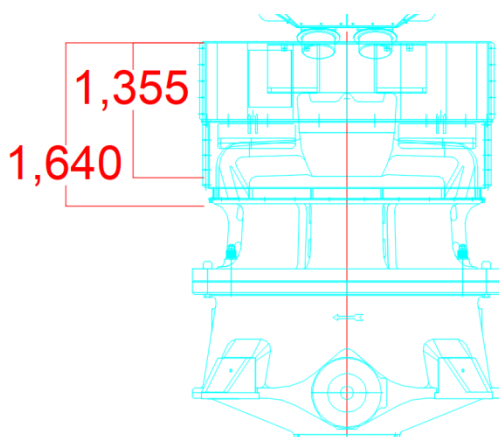
Kuva 11. Pinnanmittauksen mittausväli (mukaillen Terrafamen sisäinen dokumentaatio)

Taulukossa 3. on esitetty vuoden 2018 pinnansäätimien asetusarvojen keskiarvot, malmipatjan paksuus ko. säädöllä ja malmipatjan etäisyys tutkasta. Taulukkoon on korostettu punaisella sarakkeen suurin ja keltaisella pienin arvo. Mikäli sama keskiarvo on esiintynyt eri murskaimilla, se on korostettu sinisellä. Ensimmäisessä sarakkeessa on murskaimen numero. Toiseen sarakkeeseen listattiin asetusarvojen keskiarvot HIMU1:llä. Keskiarvot vaihtelivat välillä 36 % - 56 %.

Kolmanteen sarakkeeseen laskettiin, kuinka paksua malmipatjaa kunkin murskaimen vuoden 2018 asetusarvo olisi vastannut 22.2.2019 tarkastetuilla tutkien asetuksilla. Koska nolla prosentin paikka vaihtelee, nämä malmipatjojen paksuudet eivät ole suoraan verrattavissa keskenään. Tämän vuoksi neljänteen sarakkeeseen laskettiin, kuinka etäällä malmipatjan pinta olisi ollut tutkasta. Näin päästään vertailemaan asetuksia keskenään, koska tutkan sijainti korkeussuunnassa on sama kaikissa murskaimissa. Kuvassa 12 on suhteutettu murskaimeen väli, johon kaikki vuoden 2018 pinnansäädöt keskimäärin asettuivat.

Taulukko 3. Pintatutkien asetusten vertailu

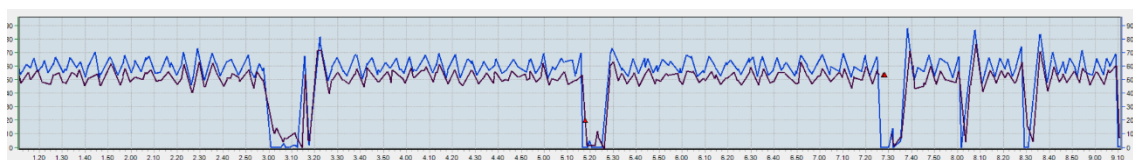
Murskaimen numero	Pinnansäädön asetusarvon keskiarvo [%]	Malmipatjan paksuus 22.2.2019 mittaussäädöillä [m]	Malmipatjan etäisyys tutkasta
1	50	0,55	1,45
2	46	0,506	1,494
3	50	0,4	1,4
4	54	0,459	1,355
5	47	0,3995	1,4505
8	53	0,4505	1,3995
9	54	0,648	1,452
10	56	0,476	1,374
11	36	0,36	1,64
12	40	0,4	1,6



Kuva 12. Pinnanasetusarvojen keskiarvon toteutumaväli (mukaillen Terrafamen sisäinen dokumentaatio).

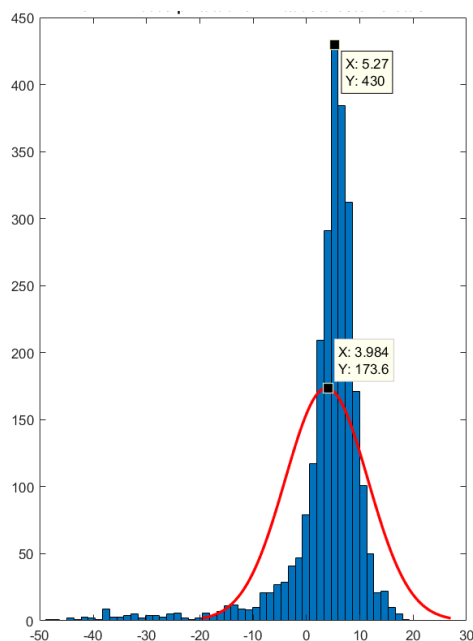
4.5 Pintatutkien toimivuus

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää, että pitääkö murskaimen pinnanmittaus paikkaansa. Tätä varten asennettiin 342MRK0008 murskaimeen kaksi pinnanmittaustutkaa. Tutkien trendikäyrät on esitetty kuvassa 13. Tutkien mittaustulosten korrelaatio oli 0,91753.

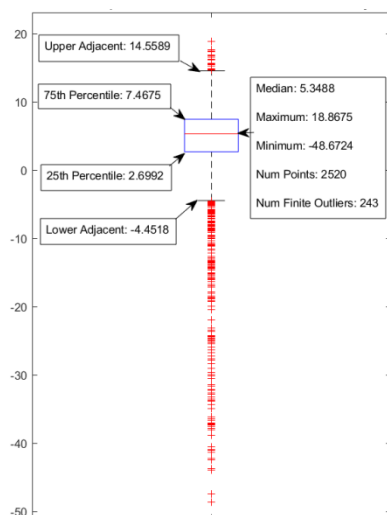


Kuva 13. Murskaimen 342MRK0008 tupla pinnanmittaus 08.02.2019.

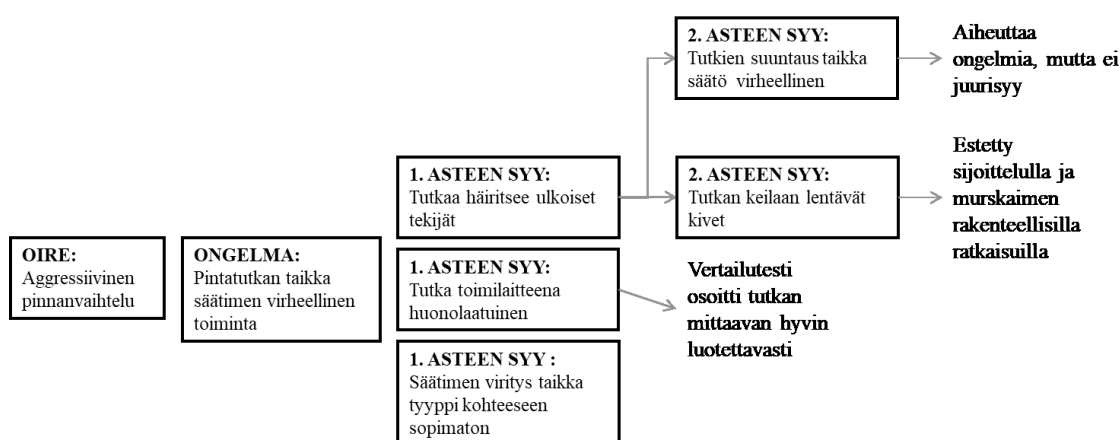
Erotuksen normaalijakautuneisuuden tarkastelua varten muodostettiin histogrammi sekä box plot, jotka on esitetty kuvissa 14 ja 15. Box plotissa ruutu muodostui välille [2,7 7,5]. Janat muodostuivat väleille [-4,5 2,7] ja [7,5 14,6]. Poikkeamien määrä oli 9,6 % otannasta. Poikkeamat painottuvat selkeästi negatiivisille arvoille. Lopputuloksena todettiin, etteivät tutkat tai niistä johtuvat mahdolliset ongelmat ole juurisyy oireelle (kuva 16).



Kuva 14. 342MRK0008 pintatutkien mittaustulosten erotus.



Kuva 15. 342MRK0008 pintatutkien mittaustulosten erotuksen hajonta.

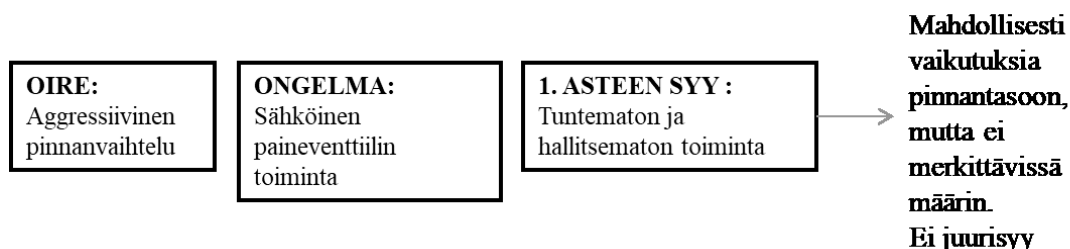


Kuva 16. Juurisyyanalyysin eteneminen.

4.6 Pinnan säädön toimivuus

Murskaimen pinnansäädin on takaisinkytketty syöttimen moottoriin. Pinnansäädin säätää moottorin tehoa välillä 0-100 %. Huomioitavaa on, että vaikka säädin antaa ohjaussuureeksi 0 %, niin toimitus ei ole syötön täydellinen loppuminen. Kuvassa 17 on esitetty murskain 342MRK0009 pinnanmittaus ja säätimen toimintatrendi 7.3.2019 klo 23.15 – 8.3.2019 klo 7.15. Murskainta on ajettu tällä aikavälillä automaattiasetuksella. Malmipinnalle oli asetettu tavoitearvoksi 58 % ja säädin oli pitänyt malmipinnan arvossa $58\% \pm 10\%$. Tämä tarkoittaa kyseisellä murskaimella noin 0,2 metrin pinnanvaihtelua.

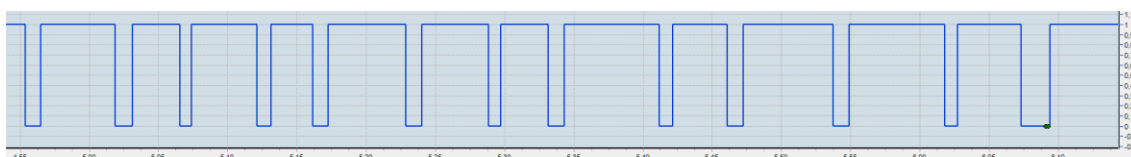
Teknisessä selvityksessä päädyttiin siihen lopputulokseen, että paineventtiili voi hetkellisesti aiheuttaa pinnan alenemaa murskaimessa. Se ei voi kuitenkaan aiheuttaa pinnantason nopeaa romahdusta tai useita tunteja jatkuvaa pinnan vaihtelua. Sähköinen paineventtiili ei näin ollen ole juurisyy ongelmaan, kuva 19.



Kuva 19. Juurisyyanalyysin toinen lopputulos.

4.8 Kolmas hypoteesi, murskaimen syöttimen toiminta

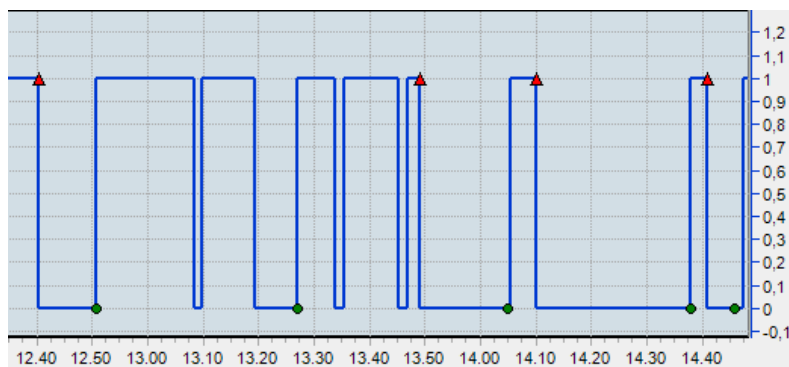
Tutkan, säätimen ja sähköisen paineventtiilin toiminnan tarkastelu ei johtanut juurisyyyn selviämiseen, joten seuraavaksi siirryttiin tutkimaan murskaimen syöttimen toimintaa. Verrattaessa syöttimen käyntitietoa murskaimen käyntitietoon havaittiin, ettei murskaimen käydessä syötin ole koko ajan käynnissä. Käyntitietoa tarkasteltaessa havaittiin, että käynti on ajoittain hyvinkin katkonaista. Tällaista tilannetta havainnollistaa kuva 20, jossa on esitetty 342MRK0005 syöttimen käyntitieto 85 minuutin ajalta 6.5.2019. Tässä esimerkki ajanjaksossa on 13 pysähtymistä, joiden kestot vaihtelevat minuutista kahteen.



Kuva 20. Murskaimen 342MRK0005 syöttimen käynti.

4.8.1 PAKKO-OHJ. SEIS

Syöttimen käyntitietoa tarkasteltaessa havaittiin tapahtumahistoriassa olevan PAKKO-OHJ. SEIS tapahtumia. Tällöin myös syötin pysähtyy, kuten voidaan havaita kuvasta 21. Kuvassa on murskaimen 342MRK0005 syöttimen käyntitieto 19.5.2019 kello 12.40 – 14.40. PAKKO-OHJ. SEIS tapahtumat piirtyvät trendiin punaisina kolmioina. Kuvassa 21 on neljä pakko-ohjauksen aiheuttamaa pysähtymistä. Pakko-ohj. seis – tapahtumassa pysähdysten kestot vaihtelevat seitsemän ja 27 minuutin välillä.



Kuva 21. Murskain 342MRK0005 syöttimen käynti.

PAKKO-OHJ. SEIS – komennolle löytyi yksitoista syötettä, jotka olivat

- paniikkipainike,
- murskaimen hätä-seis,
- moottorin ohjain,
- sulkuluukku,
- murskan ylempi ylähälytysraja,
- ASRI ALARM 05=A-mittasignaali liian korkea,
- ASRI ALARM 13= TT5 ylilämpö,
- ASRI ALARM 14= Hydraulikkapumpun moottorisuoja lauennut,
- TIMS CR_FEED_OK= syöttölupa murskalle,
- murskaimen alapuoleisen hihnasyöttimen käyntitieto ja
- murskaimen tukosvahdit.

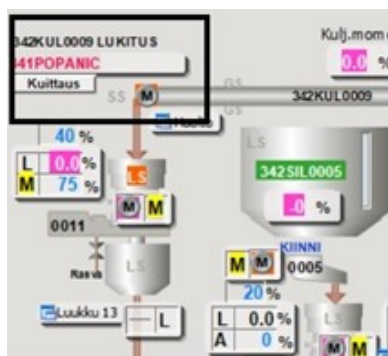
Mikäli murskaimen alapuoleinen hihnasyötin pysähtyy, syötin pysähtyy. Kuljettimen voi pysäyttää myös hihnan sivuttaissiirtymä. Mikäli syötin jäisi käyntiin kuljettimen pysähtyessä, murskain tulvisi, kun malmi ei pääse poistumaan murskaimesta.

Sulkuluukku estää malmin virtaamisen suppilosta alapuoleiselle hihnalle. Sulkuluukkuja käytetään estämään murskaimen alapuolisten prosessilaitteiden huollon aikana malmin valuminen työntekijöiden päälle. Luukuissa on paineanturit, jotka on takaisinkytketty syöttimen moottorin kanssa. Sulkuluukkujen akkupaineitten kadotessa, sulkuluukku menee kiinni. Tällöin syötin pysähtyy, jottei murskain tulvisi.

Murskain saa käyttövoimansa sähkömoottorilta. Sähkömoottorin ohjain antaa syöttöluvan syöttimelle. Mikäli moottori ei ole käynnissä, syötin pysähtyy.

Murskaimissa on tukosvahdit, jotka pysäyttävät murskaimen syöttimen, mikäli malminpinta pääsee nousemaan tälle tasolle asti. Syitä tällaiseen hallitsemattomaan pinnannousuun voisi olla esimerkiksi tukos murskaimessa.

Malminkäsittelyn prosessissa voi tulla yllättäen prosessihäiriö, joka estää malmin läpimenon tehtaalla. Esimerkkinä voidaan mainita liuotuskasoilla kasauslaitteen pysähtyminen. Koska prosessissa ei ole hienomurskaamon jälkeen enää välivarastoja tai siiloja, jotka toimisivat puskureina tällaisissa tilanteissa, operaattorit joutuvat käyttämään paniikkipainiketta (kuva 22). Silloin operaattorit saavat pysäytettyä yhdellä painikkeella kaikki malminkäsittelyn syöttimet sekä 342MRK0012 ja 342MRK0011 hihnakuljettimet. Näin estetään prosessin tulviminen tilanteessa, kun malmin läpimeno tehtaassa on estynyt.



Kuva 22. Ohjausjärjestelmän paniikkipainike.

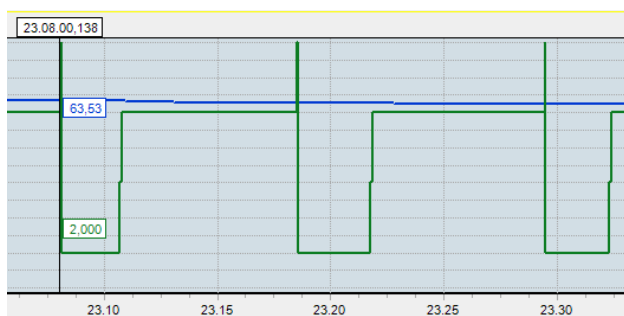
Kuitenkin tarkasteltaessa syöttimen moottorin käyntiä, PAKKO-OHJ. SEIS –komennot olivat pieni osa kaikista katkoksista. Ongelman juurisyy ei löydy näistä vaihtoehtoista, kuva 25.

4.8.2 Jaksokäynnistys ja huippulaakerin lämpötila

Operaattoreilla on mahdollisuus asettaa murskaimelle jaksokäynnistys ohjausjärjestelmästä. Jaksokäynnistyksessä määritetään, kuinka kauan syötin on käynnissä ja pysähdyksissä. Terrafamalla on ollut haasteita tiettyjen murskaimien huippulaakerin ylikuumenemisen kanssa. Tämän vuoksi ko. murskaimia on jouduttu ajamaan välillä kevennetyllä kuormalla tai käyttämään jaksokäynnistys–ominaisuutta.

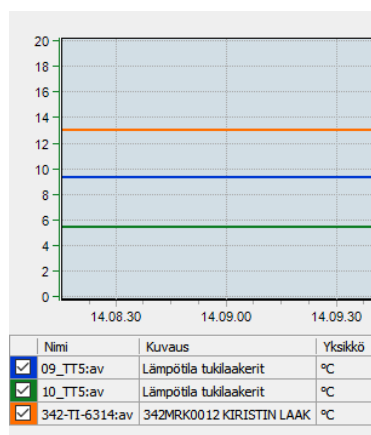
Jaksokäynnistyksen toiminnan näkymisestä syöttimen toimintaan on esitetty kuvassa 23, kun 342STN0009 ajetaan jaksokäynnistys-ohjelmalla. Jaksokäynnistyksen jaksot ovat olleet: kolme minuuttia pysähdyksissä, seitsemän minuuttia käynnissä. Syklillä on pyritty pitämään huippulaakerin lämpötila alle 63 °C. Murskaimen huippulaakerin

lämmetessä 65 °C, automatiikka pysäyttää murskaimen. Erityisen haitallista tästä tekee se, että murskain sammuu malmin ollessa murskauskammiossa. Näin ollen riski murskaimen vaurioitumiselle uudelleen käynnistettäessä moninkertaistuu. Joten prosessioperaattorit ovat iteroimalla löytäneet jaksotuksen, jossa murskaimen lämpötilat pysyvät 63 °C tuntumassa.



Kuva 23. 342MRK0009 vihreä - syöttimen käynti, sininen - huippulaakerin lämpötila.

Jaksokäynnistysten tutkimuksen seurauksena tarkasteltiin huippulaakereiden lämpötiloja. Havaittiin, ettei viisi viikkoa kestäneellä huoltotauolla kaikkien murskaimien huippulaakereiden lämpötilat laskeneet vastaamaan sen hetkistä hallin lämpötilaa (kuva 24). Murskaimilla oli 13 °C erotus lämpötilanmittauksissa.

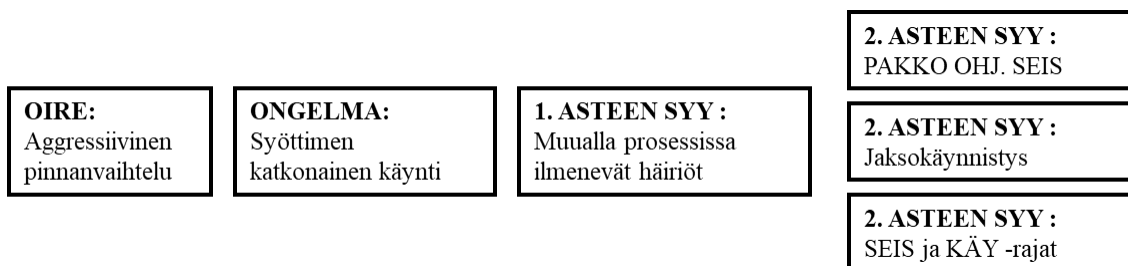


Kuva 24. sininen - 342MRK0009, vihreä - 342MRK0010 ja oranssi -342MRK0012 huippulaakereiden lämpötila.

4.8.3 Automaattiset seis ja käy -rajat

Syöttimen käynti on takaisinkytketty siilon pinnanmittaukseen. Syöttimelle käyntilupa tulee prosessioperaattorien ohjausjärjestelmään syöttämistä AUTO seis - ja AUTO käy - rajoista. Tavoitteena rajojen asettamisella on suojata siilojen syöttöaukkojen keraamisia suojalevyjä. Vaikka keraamiset levyt kestävätkin hyvin mekaanista rasitusta, ne rikkoutuvat helposti malmin osuessa niihin vapaapudotuksesta. Suojalevyjen

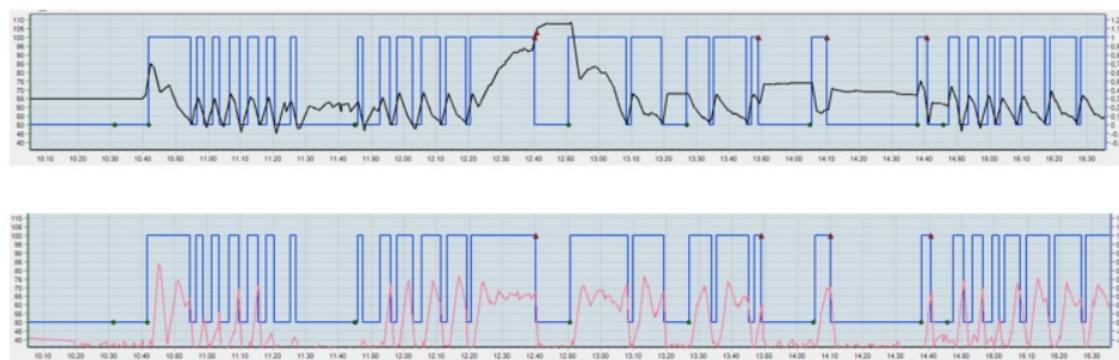
vaihtaminen on aikaa vievä huoltotoimenpide ja tämän vuoksi siilon täydellinen tyhjeneminen estetään.



Kuva 25. Juurisyyanalyysin eteneminen.

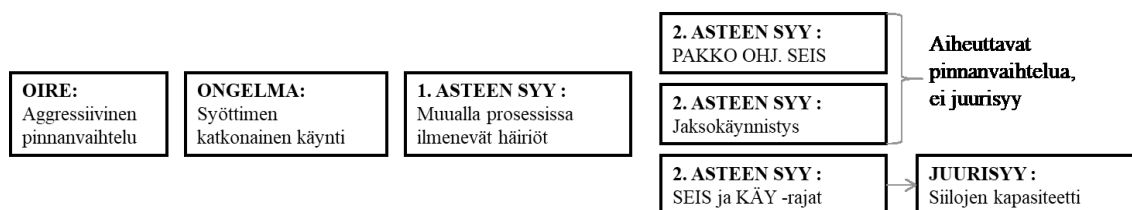
4.9 Juurisyy pinnanvaihteluun, siilojen pieni kapasiteetti

Pinnanmittausta ja syöttimen käyntiä visuaalisesti tarkasteltaessa havaitaan, että syöttimen pysähtyminen aiheuttaa voimakkaan pinnanvaihtelun. Kuvaan 26 on otettu sekä syöttimen käynnin että siilon ja murskaimen pinnanmittauksen trendit aikaväliltä 19.5.2019 kello 10:00 – 15:30, mistä korrelaation voi havaita. Kyseiseltä aikaväliltä kerättiin kymmenen sekunnin välein molemmat mittausdatat ja näiden korrelaatio oli 0,64. Kuvasta lisäksi havaitaan, että neljä kertaa syötin on pysähtynyt pakko-ohjauksella. Tällöin siilossa malmia olisi ollut sen verran, että syötin olisi ollut käynnissä.



Kuva 26. Ylempänä sininen - 342STN0003 käynti, musta - 342SIL0003 pinnanmittaus, alempana sininen - 342STN0003 käynti, vaaleanpunainen - murskaimen pinnanmittaus.

Vaikka syöttimen pysähtymisen syy on osittain muualla kuin siilon materiaalipinnan laskussa, siilon pinnanvaihtelun voidaan todeta olevan juurisyy niin syöttimen pysähtymiseen kuin aggressiiviseen pinnanvaihteluun murskaimissa. Yhteenvetona voidaan todeta, että siiloissa ei riitä malmi kaikille murskaimille yhtäaikaiseen ajoon, kuva 27.



Kuva 27. Oireen juurisyy.

4.9.1 Siilojen pinnamittaus

Terrafamella on käytössä kolme massavirtaussiiloja HIMU1:llä. Jokaisessa kolmessa siilossa syöttö tapahtuu keskelle ja jokainen siilo jakaa malmimateriaalia joko kolmelle tai neljälle murskaimelle. Siilojen tyhjeneminen tapahtuu suppilovirtausperiaatteella ja siilojen etupainotteisesti sijoitetut poistoaukot voimistavat suppilovirtausta. Suppilovirtausominaisuus laskee käytettävää kapasiteettia, kun siilon takalaitaan pakkaantuu enemmän materiaalia ja virtaavalle malmille jäävä tilavuus pienenee.

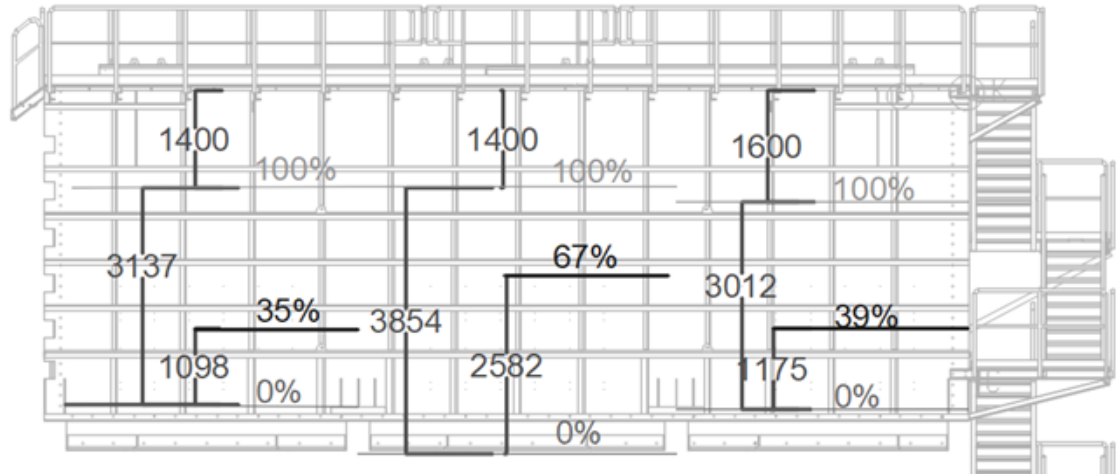
Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin siilojen tilavuuden hahmottamiseksi HIMU1:n eteläisen murskauspiirin murskaimien 342MRK0008 - 342MRK0010 siiloa. Siilossa on kolme pintatutkaa eli kunkin murskaimen syöttimelle on oma ohjaava siilon pinnanmittaus. Siilon pinnankorkeudelle ei anneta tavoitearvoa. Mikäli siilon pinnantaso ylittää 100% rajan, siilon malmi kuljetin pysähtyy. Täten estetään siilon tulviminen ja tästä seuraavat laiterikot. Taulukkoon 4. on listattu ko. siilon pintatutkien mittausalueen minimi- ja maksimirajat. Kuten murskaimien tutkissa, myöskään siilon tutkien säädöt eivät ole keskenään yhtenäiset. Toteutuneet AUTO seis - ja AUTO käy - rajat 28.2.2019 klo 13.35 on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Siilon eri lohkojen pintamittarin asetukset

Siilon lohko	100 % etäisyys mittarista [m]	0 % etäisyys mittarista [m]
342-SIL008	1,6	4,614
342-SIL009	1,4	5,253
342-SIL010	1,4	4,537

Kuvassa 28 on havainnollistettu, kuinka pintatutkiin asetetut rajat, 0 % ja 100 %, sijoittuvat siilossa ja miten 28.2.2019 kello 13.35 tehty malmipintojen mittaus on siilon täyttänyt. Kuvassa on kunkin tutkan 0 % ja 100 % rajojen etäisyys tutkasta, tutkan mittausalue ja toteutunut mittaus, yksikkönä millimetrit. Kuvasta havaitaan, että siilon

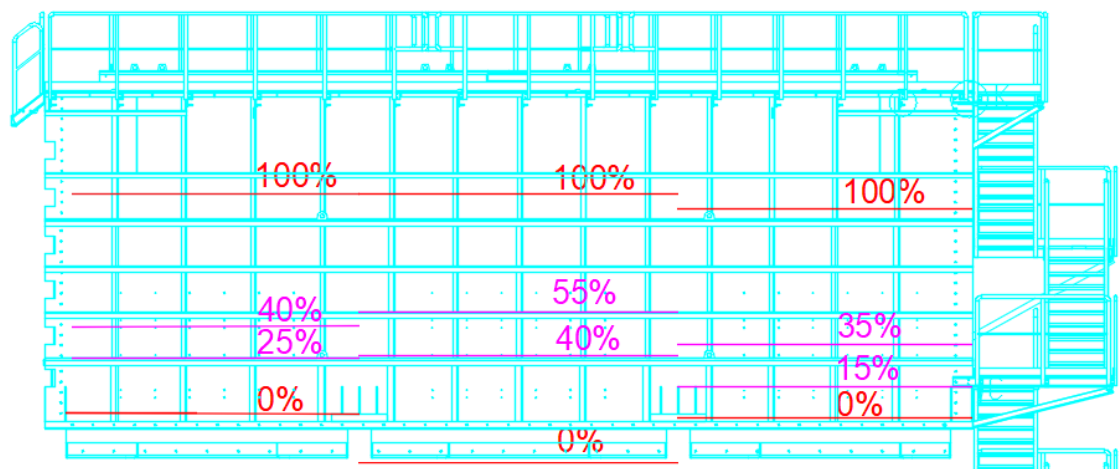
342SIL009 0 % -taso on alempana kuin viereisillä tutkilla. Siilon 0 % -tason erotus siilon lohkoilla 342SIL008 ja 342SIL009 on 842 mm. 842 millimetriä vastaa 342SIL008 mittaussvälistä 28 % ja 342SIL009 mittaussvälistä 22 %. Kuvaan 29 on piirretty taulukossa 5. esitetyt siilon pinnanmittauksen raja-arvot syöttimien pysäyttämiseksi ja käynnistämiseksi ja tutkan 0 % ja 100 % tasot.



Kuva 28. Siilon täyttöaste 28.2.2019 klo 13.35, sekä tutkien mittaussvälit (mukaillen Terrafamen sisäistä dokumentaatiota).

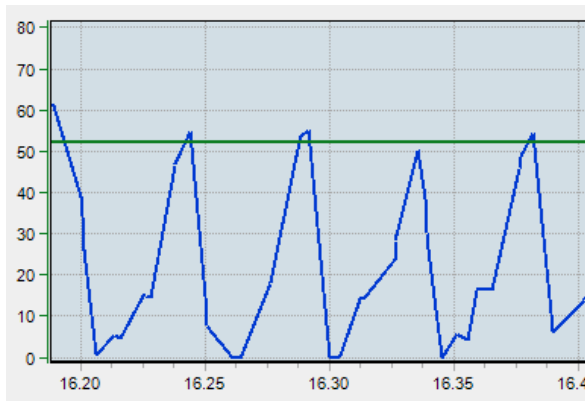
Taulukko 5. Siilon AUTO seis - ja AUTO käy -rajat 28.2.2019 klo 13.35

Syötin	Seis-auto	Käy-auto
342SIL008	15 % = 452 mm	35 % = 1054 mm
342SIL009	40 % = 1542 mm	55 % = 2120 mm
342SIL010	25 % = 784 mm	40 % = 1255 mm

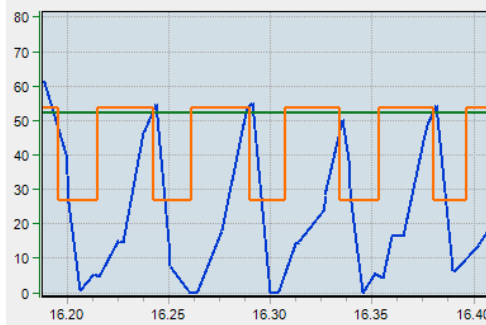


Kuva 29. Seis ja Käy -arvot siilon suhteen (mukaillen Terrafamen sisäistä dokumentaatiota).

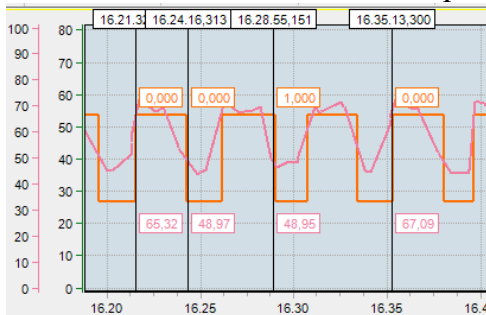
Kuvat 30 -32 ovat 342MRK0009, 342SIL0009 ja 342STN0009 toiminnasta 27.2.2019. Murskaimen pinta on vaihdellut tavoitetason eli 52 % ja 0 % välillä noin viiden minuutin syklistä. Syklistä ajoa oli noin puoli vuorokautta, välillä tiheämmin ja välillä pitemmillä aikaväleillä. Syklisyys nähdään kuvasta 29. Kun samaan kuvaajaan lisätään syöttimen käyntitiedon trendi, kuva 30., havaitaan vaihtelun korreloivan syöttimen käynnin kanssa. Kuvaan 31. on piirretty syöttimen käyntitieto ja siilon pinnanmittaus. Syötin käynnistyy pinnan tavoittaessa 65 % ja pysähtyy siilon pinnan laskiessa 50 %. Tästä voidaan päätellä, että siilossa 15 % muutos vastaa käytännössä yhtä murskaimen täyttöä.



Kuva 30. sininen - 342MRK0009 pinnanmittaus, vihreä - pinnan asetusarvo



Kuva 31. sininen - 342MRK0009 pinnanmittaus, oranssi - 342STN0009 käynti



Kuva 32. oranssi - 342STN0009 käynti, pinkki - 342SIL0009 pinnanmittaus

4.10 Vikaantumistaajuudet

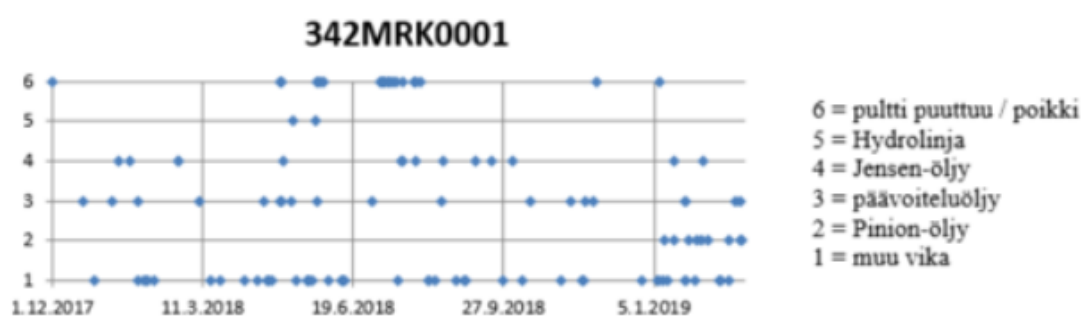
Niin laitetoimittajalla, Terrafamen omalla huolto-organisaatiolla kuin Yaran Siilinjärven tehtaan huolto-organisaatiollakin, on yhtenevä näkemys siitä, että murskaimien tyhjänä

käyttäminen on murskaimille vahingollista. Murskain on suunniteltu siten, että malmipatja toimii yhtenä tukirakenteena murskauksen aikana. Siitä johtuen todennäköisyys murskaimen vikaantumiselle kasvaa, mitä enemmän murskainta ajetaan tyhjänä. Käyttökustannusten ja tuotteen laadun optimoimiseksi murskainta tulisi pyrkiä ajamaan aina kammio täynnä kivimateriaalia. Lisäksi täytöissä tapahtuu painepiikkejä hydraulikkajärjestelmään, joten suuri määrä täyttöjä on murskaimelle vahingollista. (Sandvikin henkilökunnan haastattelu)

Työssä oli tarkoitus tutkia, pitääkö hypoteesi pinnanvaihtelun negatiivisesta vaikutuksesta murskaimien varaosakulutukseen paikkaansa. Ajotavan vaikutuksia huoltokustannuksiin ei voitu tutkia, sillä murskainkohtaista varaosakulutusta ei ollut käytettävissä.

4.10.1 Maximo: välitön ja siirretty vika

Murskaimien vikaantumisia tarkasteltiin tehtyjen työpyyntöjen kautta. Työpyynnöistä otettiin tarkasteluun viat, joiden määritelmä oli joko välitön tai siirretty. Kuvassa 33 on esitetty liitteessä 2. *Välittömien ja siirrettyjen vikojen luokittelu*, olevat kuvaajat vikojen esiintymistaajuuksista. Kuvassa rivillä kaksi esitetty pinion on akseli, joka välittää sähkömoottorilta voiman murskaimelle. Kuvassa rivillä neljä esitetty Jensen on murskaimiin jälkikäteen lisätty öljyjen suodatin. Rivillä viisi esitetty hydroset säätelee pääakselin korkeutta.



Kuva 33. Välittömien ja siirrettyjen vikojen luokittelu

Valittujen vikojen määrästä ja laadusta on laadittu taulukot 6. ja 7., jotka havainnollistavat kullekin murskaimelle tyypillisen vikaantumisen. Vikoja on taulukoinnissa karsittu siten, että on pyritty poistamaan ilmoitukset, jotka koskevat samaa vikaantumista. Näin on pyritty siihen, että jokainen hyväksytty ilmoitus olisi uusi ilmennyt vika.

Taulukko 6. Vikojen ilmenemistyyppit murskaimittain [%]

Murskain	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12
Vikoja yht. [kpl]	113	107	142	80	88	63	88	92	97	124
Pultti vika	19%	14%	1%	15%	18%	10%	36%	17%	7%	6%
Hydroset vika	2%	2%	3%	21%	7%	10%	13%	7%	6%	10%
Jensen vika	12%	20%	10%	8%	5%	8%	6%	2%	8%	6%
Päävoiteluöljy vika	18%	22%	58%	6%	14%	35%	7%	23%	33%	14%
Pinionin öljy vika	8%	0%	0%	1%	9%	2%	2%	1%	3%	6%
Valvontahäiriö	5%	12%	4%	8%	2%	2%	3%	0%	6%	11%
Muu vika	36%	30%	24%	41%	45%	35%	33%	50%	36%	45%

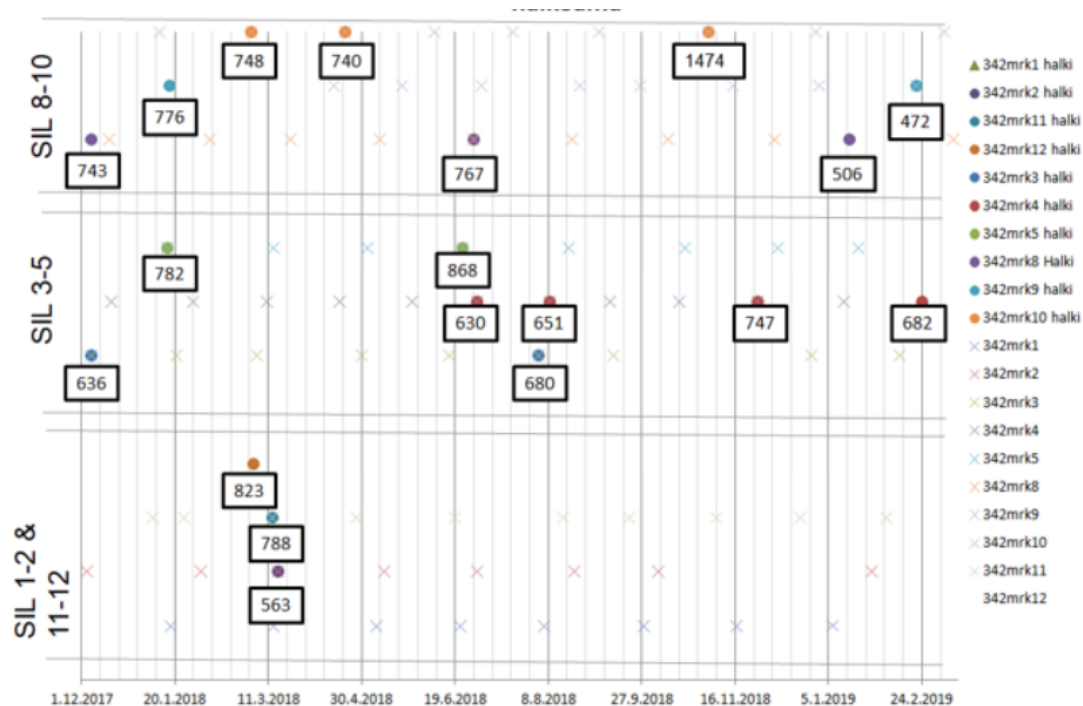
Taulukko 7. Vikojen ilmenemistyyppit murskaimittain [kpl]

Murskain	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12
Vikoja yht. [kpl]	113	107	142	80	88	63	88	92	97	124
Pultti vika	21	15	2	12	16	6	32	16	7	8
Hydroset vika	2	2	4	17	6	6	11	6	6	13
Jensen vika	14	21	14	6	4	5	5	2	8	8
Päävoiteluöljy vika	20	24	82	5	12	22	6	21	32	17
Pinionin öljy vika	9	0	0	1	8	1	2	1	3	8
Valvontahäiriö	6	13	6	6	2	1	3	0	6	14
Muu vika	41	32	34	33	40	22	29	46	35	56

4.10.2 Terien halkeamistaajuus

Yleisimmät syyt terän halkeamiselle ovat joko murskautumaton esine murskaimessa tai terän kulumisen liian ohueksi. Terrafamella on tutkittu kuormitusajan vaikutusta halkeamiseen ja saatu selville, että HIMU1:llä 800 ajotunnin jälkeen todennäköisyys terän halkeamiselle kasvaa huomattavasti. Poikkeuksen tekevät murskat 342MRK0001 ja 342MRK0002, joille vastaava ajotuntimäärä on 600. Hienomurskaamo 1:llä on suoritettu 92 teritystä tarkastelujaksolla 1.12.2017 – 7.3.2019. Halkeama löytyi 19 terityksessä eli 20,65 % terityksistä. Haljenneiden terien osalta 15,8 % tapauksissa oli ylitetty ohjeellinen ajotuntimäärä.

Kuvaan 34 on piirretty HIMU1:llä tarkastelujakson aikana suoritettut teritykset. Teritys, jossa ei ole havaittu terissä halkeamaa, on merkitty raksilla. Teritys, joissa on havaittu terässä halkeama, on merkitty kuvaan ympyrällä. Kuvassa halkeaman alapuolelle on kirjattu kyseisellä terällä ajatut tunnit, jotka oli ilmoitettu terityskortissa.



Kuva 34. Haljenneet terät 1.12.2017 – 7.3.2019.

4.10.3 Varaosakulutus

HIMU1:n varaosakulutus tarkasteltiin aikavälillä 1.12.2017 – 7.3.2019. Varaosien kulutus on esitetty taulukossa 8, josta pystyttiin vertailemaan eri osien kulutusmääriä. Taulukoitujen tulosten perusteella päädyttiin tarkastelemaan huippulaakereiden ja ulompien pölytiivisteiden korkean vaihtotaajuuden syitä.

Taulukko 8. HIMU1:n varaosakulutus

Varaosa	Kulutus
Murskaimen hattu	1
Jalkalaakeri	11
Pääakselin holkki	11
Runkolaakeri	6
Huippulaakeri	21
Ulompi pölytiiviste	29

4.11 Huippulaakerin rasvankulutus ja määrän mittaus

Tutkimuksessa huippulaakereiden vaihtoon johtaneista syistä nousi esiin ongelmallinen rasvaus. Murskaimen terityksessä pääakseli ja siinä kiinni oleva huippulaakeri viedään terähuoltoon uudelleen teritystä varten. Terrafamen terähuollon organisaation henkilöstö arvioi, että noin 50 prosentissa huoltoon tulevista huippulaakereista on havaittavissa jälkiä palamisesta. Palamisjälkiä syntyy, kun laakerin ja pääakselin välillä ei ole rasvaa. Näin ollen ongelma oli joko siinä, että huippulaakeriin ei mennyt rasvaa tai jostain syystä rasva ei pysy laakeripesässä.

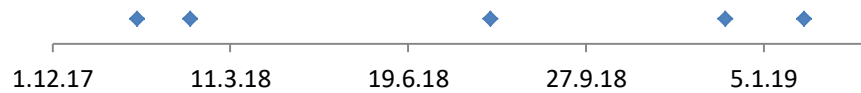
Ensimmäisen ongelman syytä alettiin etsiä huippulaakereiden rasvauksen hoitavasta järjestelmästä. Rasvausjärjestelmä on esitelty luvussa 1.2.7 Huippulaakerin rasvausjärjestelmä (Lincoln). Rasvausjärjestelmän toimivuutta arvioitiin ensin rasvankulutuksen perusteella. Karkea arvio pystyttiin tekemään teoreettisesta kulutuksesta, joten verrattiin todellista kulutusta teoreettiseen.

Toista ongelmaa, eli huippulaakerin rasvan loppuun kulumista murskaimessa, ei tässä diplomityössä tarkastella. Terrafamella arvellaan, että murskaimen tyhjäkäynti saa aikaan pääakselin pyörimisen terien mukana. Tämä puolestaan aiheuttaa laakerirasvan voimakkaan lämpiämisen ja tätä kautta viskositeetin voimakkaan laskun. Tämän seurauksena rasva vuotaisi tiiviisteen ohi pääakselia pitkin pois laakeripesästä.

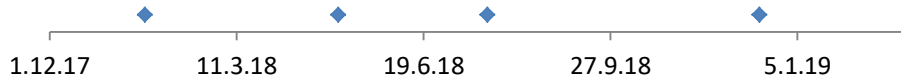
4.11.1 Huippulaakerirasvan kulutus

Terrafamelle toimitetussa teknisessä selvityksessä on esitetty laskelmat huippulaakerirasvan teoreettisesta kulutuksesta aikavälillä 1.12.2017 – 7.3.2019 eli 430 vuorokaudessa. Teoreettiseksi laakerirasvan määräksi saatiin 4900 kg, joka vastaa 29 kappaletta rasvauspiirissä syöttöastiana toimivaa 190kg rasvatynnyriä.

HIMU1:lla huippulaakereiden rasvaus toteutetaan kahdessa piirissä, rasvauspiiri 1:llä (RYK1) ja rasvauspiiri 2:llä (RYK2). RYK1 vastaa murskauspiirissä pohjoista ja RYK2 eteläistä piiriä. Kuvissa 35 ja 36 on esitetty rasvatynnyrienvaihtopäivät tarkastelujaksolta 1.12.2017 – 7.3.2019.



Kuva 35. RYK1 rasvatynnyrien vaihdot, 5 kpl.



Kuva 36. RYK2 rasvatynnyrien vaihdot, 4 kpl.

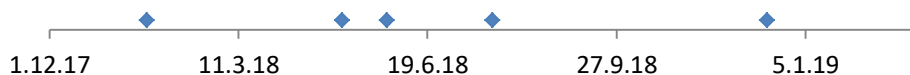
Koska RYK1:n pumppausyksikkö sijaitsee murskaimen 342MRK0011 öljytilassa, voidaan olettaa, että 342MRK0011 kohdennetut 190kg rasvatynnyrit ovat todellisuudessa vaihdettu rasvausyksikölle. Tällöin RYK1 aikajanaa voidaan täydentää,



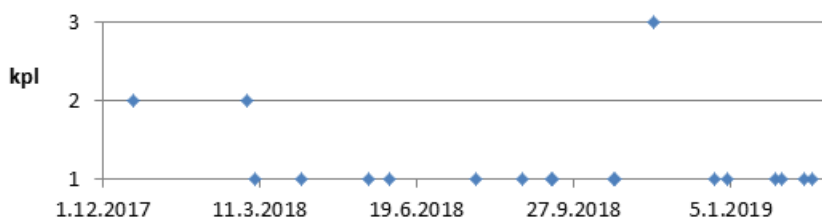
kuva 37.

Kuva 37. RYK1 ja 342MRK0011 rasvatynnyrien vaihdot, 7 kpl.

Koska RYK2:n pumppausyksikkö sijaitsee murskaimen 342MRK0012 öljytilassa, voidaan olettaa, että 342MRK0012 kohdennetut 190kg rasvatynnyrit ovat todellisuudessa vaihdettu rasvausyksikölle. Tällöin RYK2 aikajanaa voidaan täydentää, kuten kuvassa 38 on esitetty. Yhteiset – positiota käytetään silloin, kun rasvatynnyriä ei kohdenneta suoraan millekään rasvausyksikölle. Tällöin rasvatynnyri voidaan käyttää esimerkiksi käsin rasvauksessa. Yhteiset positiolle rasvatynnyreitä on haettu selkeästi eniten, kuva 39. Kaikkiaan 190 kg rasvatynnyreitä oli haettu tarkastelujaksolla 33 kpl.



Kuva 38. RYK2 ja 342MRK0012 rasvatynnyrien vaihdot, 5 kpl.



Kuva 39. Yhteiset –positiolle haetut 190kg rasvatynnyrit, 21 kpl

Terrafamelle toimitetussa teknisessä liitteessä Huippulaakerin rasvausjärjestelmä (Lincoln) on esitetty laskenta laakerirasvan teoreettiselle kulutukselle. Tuloksena saatiin, että 430 päivän tarkastelujaksossa olisi laakerirasvaa täytynyt kulua 4900 kg. Tarkastelujakson aikana RYK1:lle täydennetyt seitsemän rasvatynnyriä vastaa noin 1190 kg rasvaa. RYK2:lle viisi täydennettyä rasvatynnyriä vastaa noin 850 kg laakerirasvaa. Yhteensä siis 2040 kg laakerirasvaa, joka on 42 % laskennallisesta kulutuksesta. YHTEISET -position alle oli merkattu tarkastelujaksossa 21 kpl rasvatynnyreitä, eli 3570 kg rasvaa. Laskettaessa yhteen RYK1, RYK2 ja Yhteiset, rasvaa on käytetty 5610 kg. Kulutukset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Huippulaakerirasvojen kulutukset

Käyttöpaikka	kulutus 430 päivässä [kg]
TEOREETTINEN	4900
RYK1	1190
RYK2	850
YHTEISET	2040
TOT	5610

4.11.2 Huippulaakerirasvan määrän mittaus

Terrafamella pyritään viikoittain tarkastamaan murskaimien huippulaakerirasvan taso. Henkilöstöresurssien vuoksi sitä ei voida toteuttaa joka viikko. Mittaus suoritetaan käsin ns. tikkumittauksena, ja se toimintaperiaate vastaa henkilöauton öljynmäärän tarkistamista. Mittatikku työnnetään huippulaakerin pesään ja tarkastetaan rasvamäärä tikusta. Mittauksista on Terrafamella ylläpidetty taulukkoa, joka on esitetty kuvassa 40.

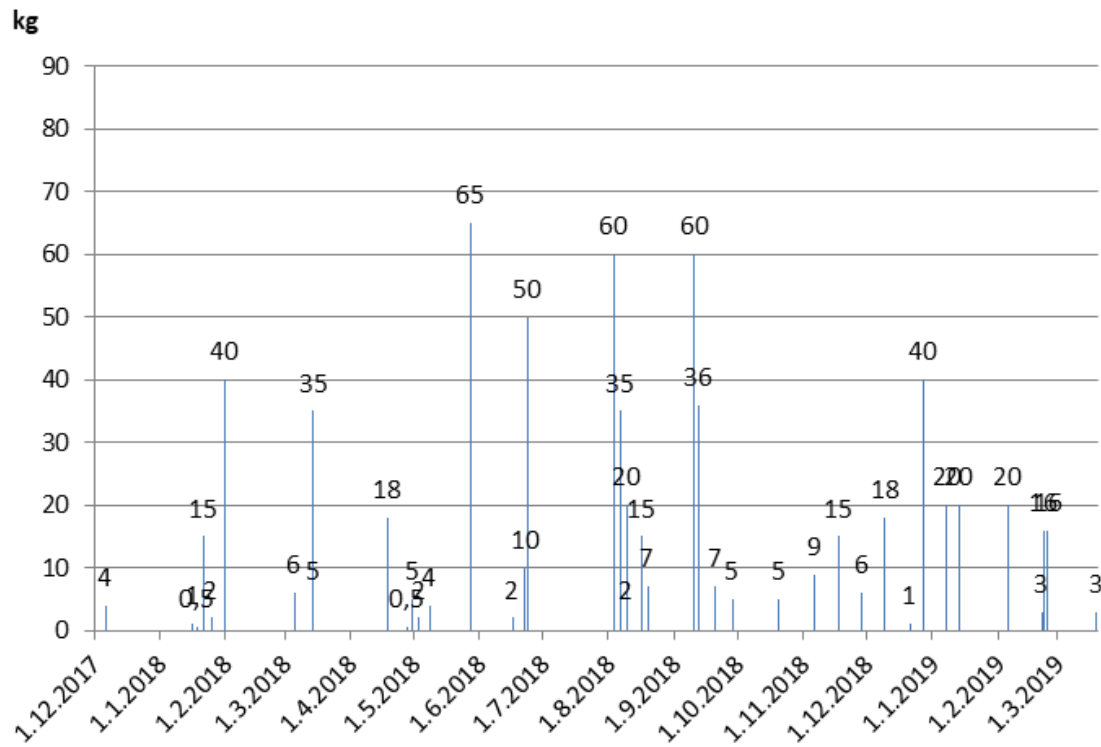
Positio	VK29	VK31	VK34	VK36	VK37	VK42	VK44	VK45	VK47	VK48	VK51	VK2	VK3	VK5	laskurin lukema	VK6	laskurin lukema	VK7	laskurin lukema	VK8	laskurin lukema	VK9	laskurin lukema
342MFK0001	2	X	ei voi, reikä väärä	0	0	0	0	0	4	0	0	2	1	0	1.1kg			1	18,2kg	0	27,4kg		30,0 kg
342MFK0002	0	0	Teritetty	1	Ei voi	0	1	0	0	0	0	0	6	2	9.8kg			2	24,7kg	0	33,0kg	0	39,2 kg
342MFK0003	8	4	0	7	8	0	0	ei voi	ei voi	0	0	0	6	0				1		0		0	
342MFK0004	0	0	0	8	10	0	0	0	0	1	0	2	7	0				3		0		2	
342MFK0005	0	0	0	ei voi	0	0	0	0	0	2	3	0	8	0				1		1		0	
342MFK0008		X	ei voi	ei voi	ei voi	ei voi	ei voi	ei voi	ei voi	ei voi	0	0	9	0				0		0		0	
342MFK0009	10	8	8	0	1	0	6	1	15	15	10	5	9	12				8			8		
342MFK0010	0	0	0	7	0	0	6	0	ei voi	0	2	0	1	0				2		8		0	
342MFK0011	4	0	ei voi	ei voi	2	0	ei voi	1	5	0	8	3	6	2				8		0			
342MFK0012	0	8	0	ei voi	6	0	0	0	5	5	0	0	4	0					1		0		
		Parantunut																					
		Sama																					
		Huonontunut																					
		Ei pysty																					

VK6, tuli tieto viikon 7 mittauksissa että tulokset (vk6) eivät välttämättä ole oikein, koska akseli ei ole ollut ala-asennossa välttämättä?

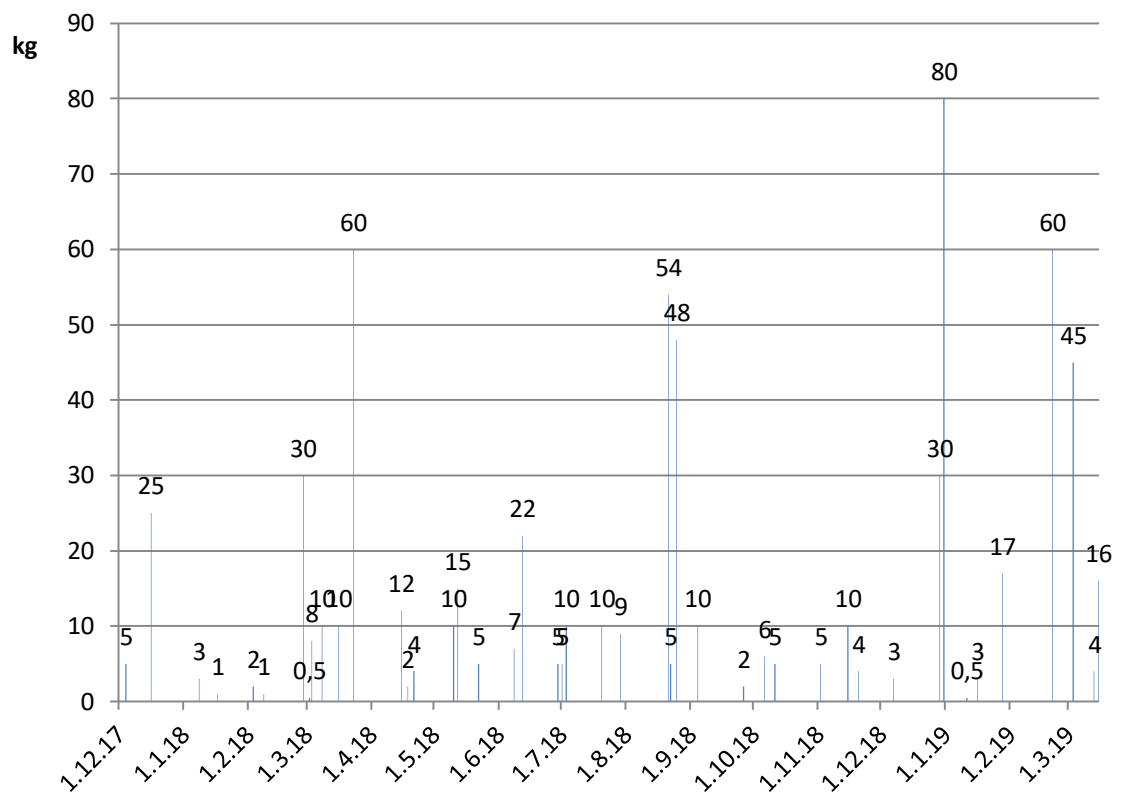
VK6, tuli tieto viikon 7 mittauksissa että tulokset (vk6) eivät välttämättä ole oikein, koska akseli ei ole ollut ala-asennossa välttämättä?

Kuva 40. Terrafamen alkuperäinen huippulaakerirasvojen määrän seurantataulukko (Terrafamen sisäinen dokumentaatio)

Kun murskain terityksen yhteydessä aukaistaan, murskaimessa oleva huippulaakerin rasva kaavitaan sankoon. Huippulaakerin rasvamäärästä huoltohenkilökunta tekee arvion ja kirjaa sen terityskorttiin. Näistä merkinnöistä on koottu kuvaajat rasvausyksiköiden, RYK1 ja RYK2, murskaimien rasvamäärästä, kuvat 41 ja 42. Liitteessä 3. *Huippulaakerirasvojen mittaustulokset murskaimittain* on esitetty kullekin murskaimelle yksilöitynä suoritettujen rasvamäärän mittausten tulokset.



Kuva 41. RYK1 murskaimien rasvanmäärän arviot terityksissä.



Kuva 42. RYK1 murskaimien rasvanmäärän arviot terityksissä.

4.12 Hienomurskaamon paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmän epävakaata toimintaa nousi esiin huippulaakerirasvan lisäystä ja pölytiivisteiden kulumista tutkittaessa. Huoltohenkilöstö on havainnut, ettei järjestelmän tuottama ilmanpaine riitä aina HIMU1:llä paineilmatyökalujen käyttöön.

4.12.1 Murskainten väliset ilmanpaineen tasoerot

Murskainten huolto-organisaation henkilöstön haastatteluissa kävi ilmi, että ulompi pölytiiviste vikaantuu, koska tiivisteiden ympärille pääsee kertymään likaa, esimerkiksi malmipölyn ja öljyn sekoitusta. Likamassa estää tiivisteiden liikkeen akselin mukana ja lisäksi kuluttaa tiivisteiden pintoja. Murskaimiin syötetään paineilmaa pölytiivisteiden ympäristön puhdistamiseksi. Ennen jokaista murskainta on paineentasausyksikkö, jolla säädetään murskaimeen syötettävän ilman paine. Murskaimien ohjekirjoissa ylipainejärjestelmän minimi- ja maksipaineeksi annetaan 600 – 1020 Pa ja virtaavan ilman määräksi 0,3 m³ / min minimipaineessa. Painesäädin on manuaalinen Norgren R38-200-RNCD. Säätimelle ei voida määrittää tavoitearvoa, eikä se ole takaisinkytketty runkolinjan paineeseen.

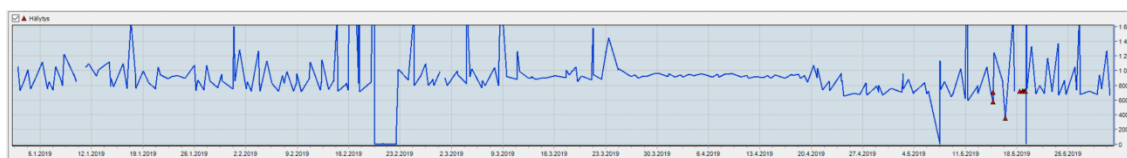
Tutkimuksessa havaittiin, että kuten lämpötilamittauksissakin, myös ilmanpainemittauksissa on tasoeroja. Selitystä murskainkohtaisille eroille paineensäädössä ei saatu haastattelujen avulla. Tasoerot murskaimien ilmanpaineessa on havainnollistettu kuvassa 43, jossa on murskaimien ilmanpainetrendi saman huoltoseisokin ajalta kuin lämpötilan tasoeroa esittävä kuva 24. Syy sille, että toisessa murskaimessa paine pysyy hyvin tasaisena seisakissa ja toisessa murskaimessa vaihtelu on voimakkaampaa, ei ole tiedossa. On epäily, että paineenvaihtelun eroavaisuus liittyy murskaimen pölytiivisteiden kuntoon.



Kuva 43. HIMU1:n Murskaimien painemittaus seisakin aikana

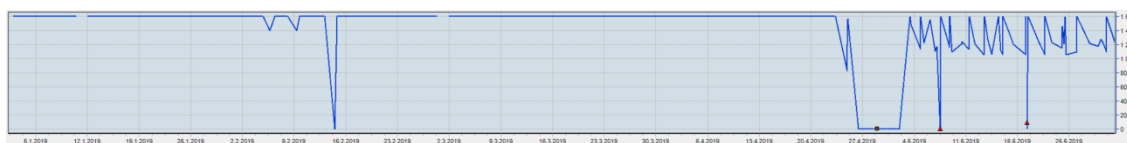
4.12.2 Havainnot painemittauksen toimivuudesta

Tämän luvun kuvissa paineen mittausväli on 0-1600 Pa, mikäli kuvassa ei muuta ilmoiteta. Kuvassa 44 on esitetty murskaimen 342MRK0009 painemittaus. Mittauksessa ei ole ollut katkoksia. Maalis-huhtikuussa ollut pidempi huoltoseisokki näkyy kuvassa selkeästi pitkänä tasaisena mittauksena. Jostain syystä seisakin jälkeen on tapahtunut pieni lasku paineen keskiarvossa.



Kuva 44. 342MRK0009 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019

Kuvassa 45 on esitetty samalta aikajaksolta murskaimen 342MRK0010 painemittaus. Mittaus on ollut ensimmäisen neljä kuukautta tasainen 1600 Pa. Verrattaessa edelliseen kuvaan, voidaan epäillä, ettei paine voi pysyä näin tasaisesti yhdessä arvossa. Painemittauksesta ei voi erottaa ajanjaksoa, jolloin murskain on ollut pois käytöstä kuukauden huoltoseisokin takia. Huoltoseisakin päätyttyä mittaus on romahtanut nolnaan, jossa se on pysynyt tasan seitsemän päivää. Tämän jälkeen trendi on lähtenyt piirtymään mittauksen mukaisesti.



Kuva 45. 342MRK0010 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019

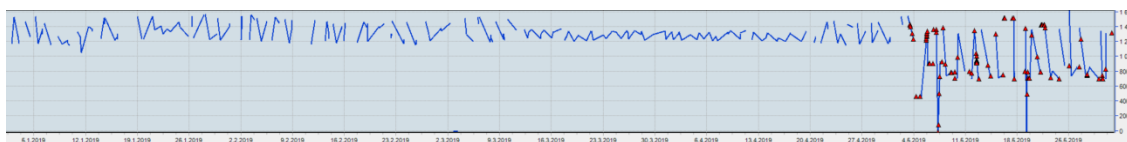
Kuvassa 46 on murskaimen 342MRK0011 painemittaus 150 vuorokauden ja yhden vuoden ajalta. Kuvasta havaitaan, että mittaus on ollut niin huonolaatuinen, ettei trendiä ole ollenkaan piirrettävissä. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että paineet ovat olleet mittausalueen ulkopuolella. Kuukauden huoltoseisakki ei ole piirtynyt kuvaajaan.

Huoltoseisakin jälkeen on paineenmittaus alkanut mitata jotain. Mutta käytännössä mittaus ilmoittaa koko ajan tulosignaaliveikaa, eikä se anna ollenkaan painearvoja.



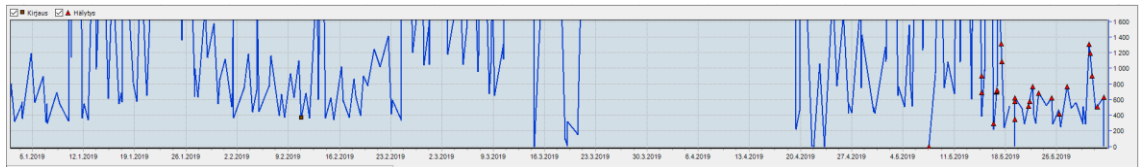
Kuva 46. Murskain 342MRK0011 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019 ja 31.5.2018 - 31.5.2019.

Kuvassa 47 on esitetty murskaimen 342MRK0012 painemittaus. Trendistä nähdään, että mittauksista on tapahtunut tarkasteluvälillä. Mittaukset tosin ovat teräviä nousuja ja laskuja, ja piikkien välillä on useiden päivien mittaisia pätkiä, jolloin mittausdata ei ole tallentunut. Mittaus on ollut oletettavasti niin heikkolaatuinen, että mittauksien tulokset eivät ole tallentuneet järjestelmään. Mittauksessa voidaan havaita huoltoseisokki, kun paineenmittaus on yhtäjaksoinen eikä paine juurikaan vaihtelee. Toistaiseksi tuntemattomasta syystä, myös 342MRK0012 murskaimen painemittaus on alkanut hälyttää tulosignaaliveikaa samaan aikaan kuin murskaimen 342MRK0011 mittaus. Pinnanmittaus on samassa tilanteessa tarkastelujakson lopussa. Mittaukset vaihtelevat mittausalueen ylärajan ja alarajan väliltä yhtenäisen trendin sijaan.



Kuva 47. 342MRK0012 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019

Kuvassa 48 on esitetty murskaimen 342MRK0004 vaihteluväli samalla asteikolla kuin edellä esitetyt painemittaukset murskaimilla 9-12. Havaittavissa on se, että paineen vaihtelut ovat aggressiivisempia kuin muissa murskaimissa, eikä seisakin aikainen paine ole mahtunut tässä vaihteluvälissä kuvaajaan. Tämän vuoksi on lisätty kuva 49, jossa paineen vaihteluväli on muutettu välille 0-10 000 Pa. Pysähdyksissä ollessaan murskaimen ilmanpaine on vaihdellut 3000 – 4500 Pa välillä, kun ohjekirjan mukaan paineen tulee olla alle 1600 Pa. Toistaiseksi tuntemattomasta syystä murskaimen ilmanpaineet ovat laskeneet huomattavasti 2019 toukokuun loppupuolella. Silloin muiden murskaimien trendeissä huomataan hälytysten alku. Tässä tapauksessa ei ole kyse tulosignaaliveikan hälytyksestä, vaan murskain hälyttää paineen olevan pienempi kuin mittauksen alaraja.

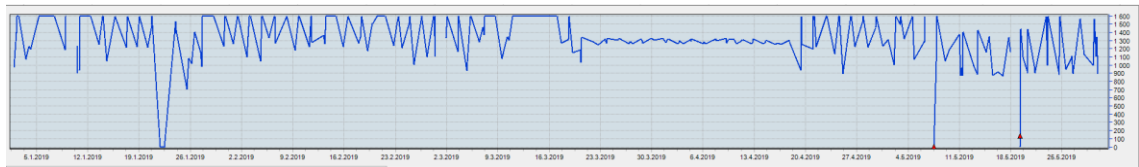


Kuva 48. 342MRK0004 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019, 0-1600 Pascal



Kuva 49. 342MRK0004 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019, 0-10 000 Pascal

Kuvassa 50 on esitetty murskaimen 342MRK0005 mittaus, joka vaikuttaa toimineen samantapaisesti 342MRK0009 paineenmittauksen kanssa. Mittaus on yhtäjaksoinen, huoltoseisakki on selkeästi havaittavissa ja pieni tasonlasku on tapahtunut huoltoseisakin jälkeen. Murskaimessa 5 seisokissa paine on pysynyt 1300 Pa ja murskaimessa 9 paine on pysynyt 900 Pa. Myös ajonajalta huomattavissa on vastaava tasoero.



Kuva 50. 342MRK0005 ilmanpaine 1.1 - 31.5.2019

Lisäksi vaikuttaisi siltä, että syöttimen käynnillä ja murskaimen ilmanpaineella on jonkinasteinen korrelaatio keskenään. Kuvassa 51 on murskaimen 342MRK0009 ja 342MRK0003 ilmanpaineiden trendit ja syöttimien käyntitiedot. Kuvasta voidaan havaita, kuinka syötön loputtua myös ilmanpaine on romahtanut. Tämä ilmiö ei esiinny kuitenkaan kuin ajoittain murskaimilla. Syytä tähän korrelaatioon ja sen vaihteluun ei ole tiedossa.



Kuva 51. Ilmanpaineen ja syöttimen käynnin välinen yhteys, murskaimet 342MRK0009 ja 342MRK0003.

Laitetoimittajan ohjekirjassa ohjeistetaan paineistamaan myös murskaimen öljysäiliö 600 – 1000 Pa, ja virtaavan ilman määräksi 0,3 m³ / min minimipaineessa. Ilmeisesti ongelmallisen toiminnan vuoksi järjestelmä on otettu tällä hetkellä pois käytöstä, eikä öljysäiliötä paineisteta.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Huomiot kerätystä datasta

Työssä huomattava työmäärä meni prosessiin tutustumiseen. Kohteesta ei ollut käytettävissä kaavioita ja kuvauksia, joten aiheeseen tutustuminen toteutettiin kenttäkierroksilla ja keskustelemalla eri organisaatioiden henkilöstön kanssa. Koska tieto kerättiin keskustelemalla eri henkilöiden kanssa, on mahdollista, että saatuun tietoon on vaikuttanut henkilökohtaiset mielipiteet ja kokemukset. Dokumenttien puutteen takia saadun tiedon oikeellisuutta ei voitu varmentaa kirjallisista lähteistä.

5.1.1 Vikaantumistaajuudet

Vikaantumistaajuuksista ei voitu päätellä kunkin murskaimen vikaantumisia, koska varaosa ei kohdennu sille murskaimelle, jossa rikkoutuminen on tapahtunut. Vaihtotaajuuksista ei voida tehdä muita johtopäätöksiä kuin lisätutkimuksen tarve niiden osien kohdalta, joiden kulutus oli merkittävästi suurempi.

Haljenneita teriä selvitellessä selkeästi muista erottuva terän ajotuntimäärä oli murskaimella MRK0010, 1474 tuntia. Tämä ei voi olla todellisuutta vastaava tuntimäärä. Virheellinen lukema selittyy sillä, että edellisessä terityksessä on aikalaskuri jäänyt nollaamatta ja näin ollen tähän 1474 tuntiin sisältyy kahden teritysvälin ajotunnit.

Maximo –merkinnöistä voidaan havaita, että teoriaosassa esitetty väittämä muutaman vian aiheuttavan suurimman osan häilytyksistä, vaikuttaisi pitävän paikkansa. Jakamalla viat viiteen kategoriaan, kaikilta murskaimilta vähintään 50 % vioista luokitui näihin viiteen luokkaan. Neljällä murskaimella kymmenestä yli 50 % vikailmoituksista kohdistui kolmeen alakategoriaan.

Vikailmoitusten määrissä on huomattavia eroja murskaimittain. Eniten vikailmoituksia (142 kpl) oli tullut murskaimelta 342MRK0003. Murskain 342MRK0003 erottuu muista selkeästi myös siinä, että 58 % vikailmoituksista oli koskenut päävoiteluöljyä. Muilla murskaimilla ko. keskiarvo oli 19,1 %. Vähiten ilmoituksia (63 kpl) oli tullut murskaimelta 342MRK0008. Murskaimet 342MRK0002 ja 342MRK0012 erottuvat muista korkeammalla määrällä valvontahäiriövikoja. Murskain 342MRK0009 erottuu

muista murskaimista korkeammalla määrällä pultteihin kohdistuneita vikailmoituksia ja 342MRK0004 Hydrosettiin kohdistuvista vioista.

5.1.2 Huippulaakerirasvan mittaukset

Hahmoteltaessa huippulaakerirasvan kulutusta, haasteeksi tulivat erilaiset toimintamallit rasvauksen toteutuksessa ja kohdennuksen puuttuminen rasva-astioille varastosta haettaessa. Käsien rasvaus toteutetaan pumppaamalla rasva joko 190 kg tai 18 kg astiasta. 18 kg astioita käytetään myös teritysten yhteydessä laakerirummun täyttämiseen ja 190 kg astioita käytetään rasvausyksiköiden astioina. Tästä johtuen kulutuksesta on tehty karkea arvio.

Myös rasvatynnyreiden kohdalla oli käytettävä harkintaa tarkasteltaessa kohdennuksia. Mikäli kohteeksi oli merkitty YHTEISET, merkitsee se, että rasvatynnyri on otettu käsirasvauskärryyn. HIMU1:lle on kolmella kerralla otettu YHTEISET –kohteen alle kerralla useampi kuin yksi rasvatynnyri. Käsirasvauksessa ei pitäisi mennä yli 190 kg rasvaa, vaikka samalla kierroksella täydennettäisiin kaikki kymmenen HIMU1:n murskainta. Voi siis olla, että tuolloin on vaihdettu rasvausyksiköidenkin rasvatynnyri. Tai sitten vain otettu kerralla varastolta useampi 190 kg tynnyri, että joka kerta käytäessä käsien rasvaamassa murskaimet ei tarvitsisi käydä ensin keskusvarastolla.

Murskaimessa jo olevaa rasvaa mitataan mittatikulla. Tässä mittauksessa on kuitenkin havaittu olevan riski virheelliseen mittaustulokseen. On mainittu kolme mittausrvirhettä aiheuttavaa tekijää, joista vaikuttavimmaksi nousi esiin odotusaika murskaimen pysäytyksestä mittaustapahtumaan. Murskaimen käydessä rasva on levittänyt niin huippulaakerin rummun pohjalle kuin seinämille ja kattoonkin. Mitä pitempään murskain on pysähdyksissä, sitä enemmän seinämiltä ehtii valua rasvaa pohjalle, josta mittausta suoritetaan.

Kaksi muuta ongelmaa ovat ne, ettei mittatikku yllä aivan huippulaakerin rummun pohjaan ja tikku voi osua huippulaakeripesän seinämiin. Koska mittatikku ei yletä pohjaan asti, mittaustulos voi olla 0, vaikka laakeripesässä olisikin rasvaa. Seinämiin osuessaan tikkuun tarttuu rasvaa ja näin aiheuttaa virheellisen tuloksen.

Mittausteknisesti huomioitavaa on se, etteivät mittaustulokset ole täysin vertailukelpoisia keskenään vaihtelevien toimintamallin vuoksi. Toisinaan kaikki

HIMU1:n murskaimet pysäytetään kerralla ja suoritetaan mittaus. Tällöin ensimmäinen kone, joka mitataan, on seisonut alle 10 minuuttia ja viimeinen kone on voinut seistä pitkästi toista tuntia. Tästä johtuen mittaukset eivät ole keskenään vertailukelpoiset. Joskus murskaimet pysäytellään yksitellen, jolloin seisona-aika on murskaimien kesken sama. Mutta mittaustapahtumat erilaisilla menetelmillä eivät ole keskenään vertailukelpoiset.

Tämän lisäksi mittaus pyritään suorittamaan viikoittain, mutta linjausta suorituspäivästä ei ole. Koska päiväystä ei merkata myöskään seurantataulukkaan, on mahdotonta sanoa, että mikä mittausten väli on ollut kolmen ja yhdentoista päivän väliltä.

5.1.3 Asiantuntijahaastattelut

Haastatteluja tehdessä havaittiin, että järjestelmien toteutuksista ja ominaisuuksista oli henkilöstön sisällä erilaisia näkemyksiä. Näiden näkemyserojen selvittäminen on aikaa vievää ja täyttä varmuutta toiminnoista ei voi saavuttaa ilman kenttätestejä. Tästä syystä olisikin syytä tehdä järjestelmästä ajantasaiset kaaviot, kuvat ja prosessikuvaukset. Tämä edesauttaisi niin suunnittelu- ja kehitystyötä kuin huoltojen toteutusta.

5.2 Pinnanmittauksen käytettävyys

5.2.1 Pintatutkien mittauksen luotettavuus

Korrelaatio kahdella pintatutkalla oli 0,92. Tästä voidaan päätellä, että pintatutkat mittaavat lähes yhteneväisesti. Korrelaation voimakkuus voidaan visuaalisesti havaita luvun 4.5 Pintatutkien luotettavuus kuvasta 13. Kuvassa on havaittavissa mittauksissa tasoero, joka selittyy tutkan nollatason määrittelyn eroavaisuudella. Nollatason määrittelyn erosta johtuvan mittaustuloksen -oletuksen tueksi laskettiin mittaustulosten erotus ja piirrettiin erotuksista histogrammi sekä box plot. Histogrammi mukailee Gaussin käyrää ja box plotissa 50% tuloksista oli 5,2 yksikön sisällä. Box plotissa oli alle 10 % tuloksista alueen ulkopuolella. Näin tiedetään, että vaikka mittauksissa on tasoero, mittaustulokset ovat keskenään niin yhtenevät kuin voitaisiin olettaakin.

5.2.2 Pintatutkien käytettävyyden parantaminen ja tavoitepinnan määrittäminen

Pintatutkien sijoittelua murskaimissa on vuosien saatossa iteroitu. Pintatutkan toiminnan kannalta olisi parasta, mikäli tutka pystyttäisiin sijoittamaan syöttimen taakse. Tällöin

malmivirta ei voisi osua tutkan keilan eteen. Tällä hetkellä murskaimen takalaitaan pintatutkaa ei voida sijoittaa syöttimen rakenteesta johtuen.

Keväällä 2019 Terrafamen kaivokselle tuli uusia Vega Plicsom –näyttömoduuleita Bluetooth –optiolla. Uuden tyyppisen näyttömoduulin etu verrattuna aikaisemmin käytettyyn on tutkien mittausarvojen saaminen reaaliajassa Android- ja iOS –laitteisiin. Mittausarvojen lisäksi laitteisiin on mahdollista saada säätömahdollisuudet ja diagnostiikat. Näyttömoduulin käyttöönotto edellytyksenä oli tutkien ohjelmistojen päivitykset. Päivitykset toteutettiin tähän työhön liittyen. Päivitysten toteutuksesta toimitettiin Terrafamelle työohje tukemaan tulevaisuudessa päivitysten tekemistä. Tämän lisäksi Terrafamelle toimitettiin työohje tutkien harhakaikukäyrän muokkauksesta.

Päivitysten ja näyttömoduulin tuomien uusien ominaisuuksien avulla tutkan suuntaaminen murskaimessa voidaan tehdä huomattavasti tarkemmin kuin aikaisemmin. Lisäksi 0 % ja 100 % paikat murskaimessa pystytään määrittämään tarkemmin kuin aikaisemmin.

5.3 Haasteet laitemitoituksissa

Yleinen periaate prosessiteollisuudessa on se, että seuraavan vaiheen kapasiteetin on oltava suurempi kuin edellisvaiheen. Näin ei synny niin kutsuttuja pullonkauloja prosessiin. Kun prosessissa vältytään pullonkauloilta, tuotannosta saadaan sujuvaa sekä laitteen kapasiteetti tehokkaasti käyttöön.

Siilojen kapasiteetti osoittautui juurisyyksi HIMU1:n murskaimien ajettavuusongelmiin. HIMU1:lle on lisätty kaksi murskainta kapasiteetin kasvattamiseksi, kuitenkin samaan aikaan siilojen kapasiteettia ei ole nostettu. Ongelma poistettaisiin yksinkertaisesti siiloja kasvattamalla, mutta ko. toimenpiteen toteutus on äärimmäisen hankalaa kohteessa. Siiloja voitaisiin kasvattaa korottamalla niitä. Tämä ei ole kuitenkaan mahdollista siitä syystä, että hienomurskaamorakennusten väli on niin lyhyt, ettei hihnakuljettimen nousukulmaa voi nykyisestä enää yhtään korottaa. Mikäli lisää tilaa haettaisiin siilojen pohjan laskemisella, tarkoittaisi se myös murskaimien upottamista maan sisään. Tämä puolestaan tarkoittaisi käytännössä koko laitteiston purkua ja massiivisia maarakennustöitä. Siiloja voitaisiin kasvattaa levantämällä niitä. Tämä

vaatisi myös rakennuksen leventämisen. Lisäksi siilojen sisällä ei tällä hetkellä ole kuljettimia, joten kuinka malmi saataisiin levittäytymään levennettyyn siiloon. Haasteeksi muodostuisi myös, kuinka saataisiin leveän siilon reunoilta malmi valumaan murskaimiin.

Murskaamolla on käytössä suurtehoisia murskaimia. Tämän seurauksena on haastavaa optimoida ajettavien murskaimien määrää juuri sillä hetkellä olevalle malmin virtausmäärälle. Yhdenkin murskaimen pysäyttäminen alentaa kapasiteettia huomattavasti. Haastavan optimoinnista tekee se, ettei saatavilla ole reaaliaikaista malmin virtausmäärää.

5.4 Havainnot vikaantumistaajuuksista

5.4.1 Varaosien kierron seurannan puute

Varaosakulutusten perusteella ei pysty selvittämään kunkin murskaimen mahdollisia vikoja, jotka ilmenisivät varaosarikoilla. Murskaimien varaosat kiertävät teritysten yhteydessä murskaimista toiseen eikä varaosissa ole seurantaa siitä, milloin osa on otettu käyttöön ja missä murskaimissa se on ollut käytössä.

Mikäli varaosien kiertoa seurattaisiin tai päästäisiin tilanteeseen, etteivät varaosat kierrä murskaimien välillä, kunkin murskaimen toimintaa voitaisiin spesifioida paljon paremmin. Viat voitaisiin havaita nopeammin ja siten vikoihin voitaisiin puuttua aiemmin. Työn suorittamishetkellä käytössä olleen tiedon perusteella todellisen vian löytäminen oli haastavaa, ja on mahdollista, että vian sijaan korjataan oiretta käyttäen runsaasti varaosia.

5.4.2 Rasvausjärjestelmän toimivuus

Työssä tarkasteltiin huippulaakereiden vikaantumisen syitä, sillä huippulaakereiden vaihtotaajuudet olivat korkeat verrattuna muihin listattuihin varaosiin. Korkean vaihtotaajuuden takia päätettiin tutkia huippulaakerinrasvausjärjestelmän toimintaa.

Luvussa 4.11.1 Huippulaakerirasvan kulutus, esitetyn erotus teoreettisen kulutuksen ja kulutetun rasvatynnyreiden välillä oli 710 kg eli 4 kappaletta 190kg rasvatynnyriä. Murskainhuollon henkilöstön haastattelun perusteella 190 kg rasvatynnyreiden kulutus

käsin rasvauksessa on ollut varmuudella korkeampi kuin neljä kappaletta. Tämän perusteella voidaan päätellä, että rasvausyksiköt eivät jostain tuntemattomasta syystä ole pumpanneet oletettua määrää rasvaa.

Olettamuksen tueksi kerättiin tiedot teritysten yhteydessä arvioituista huippulaakerinrasvojen määristä. Tutkimuksessa havaittiin, että hyvin harvoin aukaisun yhteydessä rasvaa on ollut tavoitemäärä 36 kg. Ja mikäli tämä vaade täyttyy rasvan määrässä, usein rasvaa on ollut puolestaan tulvimiseen asti. Tämä viittaisi siihen, että murskainta on käyty käsin rasvaamassa juuri ennen teritystä. Tätä asiaa ei voi varmistaa, koska tikkumittausten kirjausta ei ole toteutettu kuin tarkastelujakson loppupuolella.

5.4.3 Murskaimien ilmansyötön toimivuus

Murskainten ilmansyötön toimivuutta tutkimuksen tekohetkellä on haastavaa määritellä tarkasti, sillä mittauksen luotettavuus oli osalla murskaimista heikko. Murskainten painemittauksissa havaittiin merkittävää vaihtelua. Tämä tukee oletusta ilmansyötön ainakin ajoittaisesta toimimattomuudesta. Merkittäväällä vaihtelulla tarkoitetaan tässä yhteydessä niin suurta paineenvaihtelua, ettei mittausalue riitä. Paineilman murskainkohtaisesta säätöstrategiasta ei haastatteluissa löytynyt yhtenäistä linjaa taikka toteutetuille säädöille virallisia perusteluita.

”Jos fiiberi on väljä eli ei jaksa pitää pölyä loitolla maljasta niin sehän sotkee öljyt. Sinällään siis ei heti riko mitään mutta pitemmässä juoksussa alkaa syömään liukupintoja jalkalaakerista sekä epäkeskohlkista. Lisäksi pumppu alkaa kulua voimakkaasti jolloin pumpun tuotto hiipuu hiljalleen. Tosin virtausvahti antaa hälytyksen, jos öljynvirtaus on liian pieni, jolloin vaurioita ei sen kautta pääse syntymään.”

Teksti on suora lainaus sähköpostikeskustelusta 5.7.2019 murskaimien kunnossapitoasiantuntijan kanssa. Viestissä mainittavalla pumpulla tarkoitetaan kiertoöljypumppua, joka voitelee jalkalaakerit, epäkeskon ja runkolaakerin. Tutkimuksen alkuvaiheessa ei ollut vielä tiedossa, että myös ylipainejärjestelmä on otettava mukaan tutkimukseen. Tarkasteltavien osien listalla oli jalkalaakeri ja pääakselin holkki, joiden vikaantumiseen vaikuttaa myös murskaimen ylipaineen toiminta.

5.4.4 Terien halkeilu

Terän halkeamisen ja halkeaman aiheuttaman vikaantumisen välistä yhteyttä ei pystytty tilastollisesti tutkimaan, koska murskaimista ei ole käytettävissä vaurio- ja vikaantumistietoja. Terrafamen huolto-organisaation murskahuollon asiantuntijan mukaan haljennut terä, eli mantteli, nostaa huomattavasti riskiä seuraaville vaurioille:

”Kun sisäterä halkeaa, tarkoittaa se sitä, ettei terä istu enää tiukasti tukikartiota vasten. Tästä seuraa se, että murskauksen aikana mantteli iskeytyy tukikartioita vasten, jolloin tukikartio alkaa kulumaan. Mikäli halkeamaan ei reagoida ajoissa, menee halkeamaan kivimurskaa. Kivimurska jauhautuu terän ja tukikartion välissä, ja näin voimistaa tukikartion kulumista. Kun pääakselin tukikartio on kulunut, ei siihen enää kyetä istuttamaan uutta manttelia. Mantteli tarvitsee tiiviin tukikartion pinnan, jotta mantteli kestää murskatessa siihen kohdistuvat voimat. Liian kulunut pääakseli joudutaan lähetettävä huollettavaksi, jolloin huoltokustannukset nousevat huomattavasti.

Aina on myös vaarana, että halkeamasta irtoaa palanen, joka tippuessaan rikkoo alapuolella olevan kuljettimen tai kulkeutuu muihin murskiin aiheuttaen niissä vahinkoa.”

Teksti on suora lainaus sähköpostikeskustelusta 26.4.2019 murskaimien kunnossapitoasiantuntijan kanssa.

Kuvassa 30. on havaittavissa, että haljenneita teriä löytyy samassa terityskierrossa useammasta murskaimesta, joihin syöttö tapahtuu samasta siilosta. Terät ovat haljenneet, vaikka ohjeellisia ajotuntimääriä ei ole ylitetty. Tämän perusteella voidaan päätellä, että murskauspiiriin on jäänyt kiertämään jokin murskautumaton esine. Terrafamella on runsaasti magneetteja käytössä poistamaan rauta malmin joukosta. Koska malmi itsessään on niin rautapitoista, raudanilmaisimia ei ole saatu laitoksella toimimaan. Mikäli halkeamat johtuvat murskautumattomasta esineestä, tulisi tutkia voidaanko sähköisen paineventtiilin toiminnasta havaita kiertävä vierasesine. Tämä mahdollistaisi esineen poistamisen kerrosta ennen mahdollisia laiterikkoja.

Iso osa halkeamista jää havaitsematta ennen teritystä. Tämä johtuu siitä, ettei terien kunnan tarkastaminen kuulu mihinkään tarkastuskierrokseen. Terien tarkastuksien suorittamisesta ei ole olemassa työohjetta.

5.4.5 Huippulaakerin lämpötilanmittaus

Ongelmana HIMU1:llä oli osissa murskaimissa huippulaakerin ylikuumeneminen. Lämpötilojen mittauksia vertaillaessa havaittiin, että niissä on huomattavia tasoeroja murskaimien kesken. Syyksi paljastui, ettei lämpötilamittausten kompensointijohtimia oltu kytketty. Ongelma saatiin poistettua kahdesta ongelmallisesta murskaimesta, joissa

ei ollut käytössä ASRI-ohjausjärjestelmää, suorittamalla tarvittavat kytkennot. ASRI – ohjausjärjestelmässä olevien murskaimien hälytystasoa nostettiin pysyvän poikkeaman verran. Näin päästiin tilanteeseen, että toistaiseksi jaksokäynnistys-ajomoodia ei ole tarvittu. Lisäselvittelyä tarvitaan siihen, että kuinka ASRI – ohjausjärjestelmän kautta tuleva lämpötilamittaus on toteutettu. Näin voidaan tarkastaa myös näiden murskaimien kaapelointi ja päästäisiin hoitamaan itse vika, eikä vain oire.

5.5 Keinot käytettävyyden ja käyttövarmuuden kohottamiseksi

5.5.1 Viralliset ohjeet työsuorituksista ja asetusten yhtenäistäminen

Kaikista murskaamalla suoritettavista huolto- ja tarkastustoimenpiteistä ei ole olemassa virallisia ohjeita. Tästä johtuen huoltohenkilöstöllä on erilaisia ohjeita toiminnasta. Esimerkiksi mainittakoon murskaimen huippulaakerirasvan lisäys sekä pintatutkien suuntaus ja säätö.

Huippulaakerirasvauksesta osa henkilöstöstä kertoi ohjeistuksen olevan, että tikkumittauksesta saadessa arvo 0 rasvaa lisätään. Toiset henkilöt puolestaan kertoivat ohjeistuksen olevan, että mikäli tikkumittauksessa saadaan tulos 2 tai vähemmän, rasvaa lisätään. Vaihtelevista pintatutkien suuntauksista ja säädöistä seuraavista ongelmista on kerrottu luvussa 4.4 II asteen syyt. Lyhyesti aiheesta mainittakoon, että säätöjen yhtenäistämällä saavutettaisiin mittausten vertailukelpoisuus sekä prosessiohjaajille tieto säätöjen vaikutuksista.

Murskaimien terien tarkastuksista ei ole myöskään virallista ohjetta. Kyseltäessä tarkempaa ohjetta, neuvottiin tarkastamaan Sandvikin toimittamasta murskaimien käyttöohjeesta. Käyttöohjeessa ei kuitenkaan millään tavalla ohjeisteta tarkastusta, todetaan vain tarkastusten olevan tärkeitä ja niitä pitää suorittaa. Terien tarkastamisessa nousi esiin myös työturvallisuus. Henkilöstö ei koe turvalliseksi mennä murskaimien sisään tarkastusta suorittamaan, koska kaikissa murskaimissa ei ole sulkuluukkuja. Sulkuluukuilla varmistetaan, ettei syöttimeltä voi valua malmia murskaimeen.

5.5.2 Kulutusten ja varaosien kierron seuranta

Mikäli murskaimissa käytettävien rasvojen ja varaosien kulutusta seurattaisiin, toimimattomat järjestelmät voitaisiin havaita nykyistä nopeammin ja päällekkäiset huoltotoimenpiteet, kuten rasvojen lisäys useaan otteeseen saman mittauksen perusteella, estettäisiin. Murskaimien terityksessä käytössä olleet osat vaihtavat murskainta. Koska kierrosta ei ole seurantaa, niin ei voida myöskään saada selville sitä, että onko jokin murskain vikojen aiheuttaja. Tavoiteltava tilanne olisi, etteivät varaosat kiertäisi murskaimien välillä. Tällöin varaosien seuranta helpottuisi huomattavasti. Mikäli eri murskaimet aiheuttavat erilaisen mekaanisen rasituksen kulutusosiin, pidettäessä yhdessä ja samassa murskaimessa osat voisivat kestää pidempään.

5.5.3 Murskaimien tukitoiminnot

Yleisesti Terrafamella on havaittu, ettei rasvausjärjestelmä kykene vastaamaan muuttuvista tilanteista johtuviin haasteisiin. Koska murskaimilla ajotapa ei ole koko ajan samanlainen, on epäily, että huippulaakerirasvan kulutus vaihtelee yhtä lailla. Reaaliaikaista online-mittausta ei ole saatavilla huippulaakerirasvan määrään, joten takaisinkytkettyä säädintä ei ole mahdollista järjestelmään rakentaa.

Tikkumittauksen haasteena on saada selville, onko murskaimessa todellakin rasvat loppu. Tähän ratkaisuna olisi seisottaa murskaimia ennen mittauksen suorittamista, että varmistetaan rasvan valuminen laakerirummun pohjalle. Tämä ei ole kuitenkaan tuotannon kannalta mielekäs vaihtoehto. Mittauksen toimintamallia voitaisiin muuttaa esimerkiksi siten, että mikäli tason mittaus antaa tuloksen 0-2, murskain pysyisi pysähdyksissä ennalta määritetyn ajan, jonka jälkeen mittaus uusitaan. Mikäli edelleen tulos osoittaa huippulaakerirasvan lisäyksen tarpeelliseksi, lisätään rasva.

Tällä hetkellä rasvausjärjestelmien rasvapönttöjen vaihdosta ei toteuteta seurantaa. Rasvapöntön vaihtotarvetta seurataan kenttäkierroksilla visuaalisesti. Näitä tarkastuksia suorittaa useampi organisaatio ja vuoro. Vaarana on, ettei muutoksia rasvausyksikön rasvatynnyrin pinnantasossa, ja etenkin muutoksen puutteista, huomioida. Ilmeisesti menneisyydessä on harkittu paperisia listoja rasvausyksiköiden luokse, joihin merkataan pönttöjen vaihtopäivät. Tällöin kyettäisiin seuraamaan, että rasvatynnyri kuluu oletetussa ajassa. Tällaisessa menetelmässä on kuitenkin vaarana, että vaihdot jäävät merkkäämättä ja lappuset katoavat. Yksi tapa seurata kulutusta olisi merkitä

rasvapöntön kylkeen päivämäärä, jolloin rasvapönttö on toimitettu rasvausyksikköön. Tämä helpottaisi rasvan kulutuksen seuranta ja kaikki tarkastajat voisivat havaita, mikäli pönttö ei ole kulunut loppuun kuukauden jälkeen. Ja voidaan alkaa epäilemään häiriötä järjestelmän toimivuudessa. Ratkaistava olisi lisäksi se, että kuinka varmistetaan, ettei saman tikkumittauksen perusteella lisätä kuin kerran rasvaa.

Rasvanmäärän mittauksia toteutetaan usealla eri tavalla. Jotta saataisiin keskenään vertailukelpoista dataa, mittaustapahtuman toimenpiteet tulisi vakioida. Näin pystyttäisiin seuraamaan rasvan kulutusta siten, että pystyttäisiin tulevaisuudessa tekemään arvio tarpeellisista huolloista.

5.5.4 Lisättävät mittaukset

Murskaimilta tehdyissä työpyynnöissä on merkintöjä öljyjen loppumisesta taikka yhtäkkisestä katoamisesta. Tämän vuoksi olisi suositeltavaa, että öljyjen määränmittaus muutettaisiin online-mittaukseksi. Näin välttyttäisiin tilanteelta, että öljyt pääsevät loppumaan kokonaan ja voitaisiin saada selvyys siihen, miksi ja millaisissa tilanteissa murskaimilta öljyt niin sanotusti häviävät.

Tuotanto on ilmeisesti esittänyt jo aikaisemmin pyynnön virtausmittauksen saamiseksi öljylinjastoihin. Murskaamalla on ollut haasteita niin käsi- kuin magneettiventtiilien kanssa, joten virtausmittauksen lisääminen on perusteltua.

Virtausmittauksesta paineilmajärjestelmässä tuomia etuja tulisi harkita. Koska paineilmajärjestelmästä ei ole olemassa virallisia kaavioita ja järjestelmäkuvauksia, ei ole varmuutta mihin kaikkialle samasta linjasta ilmaa jaetaan ja kuinka suuri on HIMU1:lle tulevan linjaston kapasiteetti. Muun muassa on havaittu, että seulomon pölynpoistoin käynnistyessä murskaimien ilmanpaineet laskevat. Ilman virtausmittauksella pystyttäisiin toteamaan, että tuleeko murskaamolle riittävä määrä ilmaa kaikkien prosessien ottaessa tarvitsemansa ilmamäärän.

Paineilman paineenvaihtelun vuoksi lisättävän rasvan määrää ei tällä hetkellä voida tietää. Koska on koettu, että virtausmittari syöttöletkussa aiheuttaa liikaa haittaa, niiden käytöstä on luovuttu. Vaihtoehtona voisi harkita puntarin lisäämistä rasvauskärryyn. Näin painonmuutoksesta nähtäisiin, milloin on pumpattu tavoiteltava 18 kg annos. Haasteeksi jää suunnitella, kuinka systeemistä tehdään sellainen, ettei saman mittauksen

perusteella tulla käymään useampaan kuin yhden kerran lisäämässä rasvaa huippulaakerin pesään.

Koska murskaimien kuormitus ja syötettävän kiven määrä vaihtelee, murskaimien huollon onnistumisen vertailussa ei tulisi käyttää ajettujen tuntien vaan tuotettujen tonnien määrää. Mikäli kyettäisiin mittaamaan kunkin murskaimen läpi virtaavan malmin massa, myös murskaamolle pystyttäisiin tekemään prosessikaavio. Massavirtausten reaaliaikaista tietoa pystyttäisiin hyödyntämään myös käytettävien murskaimien määrän optimoinnissa.

5.5.5 Murskaimien tukosvahtien käyttövarmuus

Tällä hetkellä yhdellätoista kolmestatoista murskaimesta tukosvahteina toimii rotaatiokytkin. Mikäli rotaatiokytkimen pyöriminen estyy malminpinnan nousun vuoksi, järjestelmä pysäyttää murskaimen syöttimen. Ongelmina tämän tyyppisistä tukosvahdeista voidaan mainita, ettei ohjausjärjestelmään tule minkäänlaista tietoa näiden toimintakunnosta. Toimintakuntoa ei pystytä myöskään tarkistamaan muulloin kuin seisokkien aikana, koska tukosvahtia ei pysty näkemään murskaimen ollessa käynnissä. Murskaimia ajetaan luottaen tukosvahteihin pintatutkien ollessa syystä tai toisesta pois käytöstä. Toimintatapa on arveluttava, koska helmikuun tarkastuksissa osa tukosvahdeista osoittautui rikkinäisiksi. Kahdella murskaimella HIMU1:llä on käytössä radiometrinen pintakytkin tukosvahtina. Tämän toiminnan operaattorit kokevat erittäin toimintavarmaksi. Etuna tämän tyyppisellä tukosvahdilla on toimintavarmuus ja sen toimintakykyä voidaan seurata ohjausjärjestelmän kautta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUKSET

6.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää murskaimien pinnanmittauksen toimivuus, löytää juurisyy murskaimien aggressiiviselle pinnanvaihtelulle ja tarkastella hienomurskaamon käytettävyyttä. Tutkimus toteutettiin data-analyysina, haastatteluina sekä havainnoimalla kenttäkierroksilla.

Murskaimien malmipinnan vaihteluun juurisyiksi osoittautui murskaimia edeltävien siilojen liian pieni kapasiteetti. Siiloista ei riitä malmia kaikille murskaimille ajoon tasaisella malmipinnalla. Ongelmaa voimistaa myös murskaimien kapasiteetit. Jokainen murskain on kapasiteettiluokitukseltaan suurtehomurskain. Yhdenkin murskaimen pysäyttäminen vaikuttaa voimakkaasti murskaamon kokonaiskapasiteettiin. Tämän seurauksena murskaimien määrää ei pystytä optimoimaan sen hetkiseen malmin virtausmäärään.

Tutkien toiminta todettiin tutkimuksessa luotettavaksi. Haasteiksi pinnanmittauksessa havaittiin pintatutkien keskinäisten säätöjen ja asennusten vaihtelevuus. Pinnanmittauksen historiasta kumpuava epäluottamus tutkiin aiheuttaa vielä tänäkin päivänä sen, ettei mittaustuloksia pidetä murskaamolla luotettavina. Pintatutkien käytettävyyttä parannettiin ohjelmisto- ja laitteistopäivityksillä sekä kaivokselle toimitetuilla työ- ja toimintaohjeilla pintatutkien käytöstä. Terrafamen henkilökuntaa on ohjeistettu pintatutkiin liittyvän koulutuksen pitämisestä, jotta loppukäyttäjien luottamusta mittaustuloksiin saataisiin kohotettua.

HIMU1:n kahdeksalla murskaimella on rotaatiokytkin, joka toimii murskaimilla tukosvahteina. Mikäli murskaimen pintatutka on ollut pois käytöstä, on murskainta kuitenkin ajettu luottaen tukosvahteihin. Tukosvahtien heikkoutena on, ettei niiden toimintakunnosta saada minkäänlaista tietoa ajon aikana. Murskaamolla voi muodostua näin ollen tilanne, ettei murskaimessa ole minkäänlaista toimivaa pinnanmittausta ajon aikana, mikäli pintatutka on pois käytöstä eikä tukosvahtia ole juuri tarkastettu.

Murskaimien kaksi päätukitoimintoa on huippulaakerin rasvausjärjestelmä sekä murskaimen ylipainejärjestelmän tarvitseman paineilman syöttö. Molemmissa

tukitoiminnoissa on havaittu, etteivät tämän hetkiset järjestelmät kykene suorittamaan sille tarkoitettua tehtävää HIMU1:n muuttuvissa olosuhteissa. Murskaimien epätasaisesta ajosta johtuen murskaimen kuluttaman huippulaakerirasvan määrä ei ole ajan suhteen vakio. Murskaimien rasva-annostelijat ovat vakiosäätöiset, eikä niissä ole takaisinkytkentää rasvan määrään laakeripesässä. Näin ollen rasvan syöttö ei mukaile kulutusta. Murskaimien tarvitsema ilmanpaine on vakio, jolloin haluttu paine voidaan ylläpitää yksinkertaisen painekytimen avulla. Terrafamen tapauksessa haasteena on, että HIMU1:n paineilmajärjestelmän runkolinjan paineet vaihtelevat voimakkaasti. Paineen säätimellä ei ole takaisinkytkentää runkolinjapaineeseen, ja tämän seurauksena murskaimien ilmanpaine vaihtelee muun muassa runkolinjapaineita mukaillen.

Murskaimien vikojen analysointi on tällä hetkellä erittäin vaikeaa kaivoksella, koska vikaantumista ja varaosakulutuksista ei kerätä murskainkohtaista tietoa. Tällä hetkellä pystytään tekemään vain arvioita syistä, joiden seurauksena on varaosien korkea kulutus. Tavoitteena tulisi tulevaisuudessa olla ongelman syyn löytäminen ja eliminoiminen, ennemmin kuin pelkästään syiden aiheuttamien ongelmien korjaaminen.

Murskaamon järjestelmistä ei ole joko ollenkaan tai ainakaan ajantasaisia kaavioita, kuvia ja prosessikuvauksia. Edellä mainitut dokumentit edesauttaisivat niin suunnittelu- ja kehitystyötä kuin huoltojen toteutusta. Tällä hetkellä tieto systeemistä täytyy hankkia haastatteluina ja kenttäkierroksin. Tällöin on mahdollista, että saatava tieto on virheellistä.

Murskaamon säätöstrategia niin murskaimien ja siilojen pintatutkien, rasva-annostelijoiden sekä ilmanpainesäätimien osalta tulisi yhtenäistään. Mikäli yhtenäistettäisiin kaikkien samanlaisten mittaus- ja säätölaitteiden asetukset, olisivat mittaukset ja säädöt keskenään vertailukelpoiset. Tällöin prosessioperaattorien olisi helpompaa huomata prosessissa tapahtuvat muutokset ja prosessilaitteiden poikkeava toiminta. Myös todennäköisyys laitevikojen nopeammalle havainnoinnille kasvaa.

6.2 Jatkotutkimukset

Siilojen tilavuus osoittautui tutkimuksessa ongelman juurisyyksi. Koska suurempien siilojen rakentaminen ei vaikuta olevan tällä hetkellä realistinen vaihtoehto, tulisi selvittää, että ovatko tämän hetkiset siilot malliltaan kokoonsa nähden parhaat

mahdolliset, ja kuinka paljon tällä hetkellä menetetään käytettävää kapasiteettia pakkaantumiseen tai vajaatäyttöön. Lisäksi tulisi selvittää, että voidaanko siilojen kapasiteettia käyttää paremmin hyödyksi esimerkiksi aputoimilaitteilla. Siiloista tämän lisäksi tulisi tutkia, että ovatko tämän hetkiset mittaussvälit ja muihin toimilaitteisiin vaikuttavat rajoitukset optimaaliset.

Luvussa 4.10.1 todettiin, että mikäli siilojen SEIS ja KÄY rajojen erotus on 15 %, malmi ei riitä yhtään hetkeä murskaimeen tasaisella pinnalla ajettavaksi. Tulisi pohtia, että onko mielekästä murskaimien kannalta käyttää näin pientä erotusta käynnistyksen ja pysäytyksen välillä. Olisiko mahdollista asettaa väli isommaksi, jolloin tehtaasta läpi ajetun malmin määrä ei laske, mutta täyttöjen määriä murskaimilla saataisiin vähennettyä.

Murskaimien käytettävyyden parantamiseksi siilojen täyttymisnopeus tulisi selvittää. Malmin virtausmäärä malminkäsittelyssä vaihtelee välillä 0 – 3 400 t/h, eikä virtausmäärälle ole mittausta reaaliajassa. Tällä hetkellä ei ole tiedossa, kuinka nopeasti siilot täyttyvät, mikäli yksi siilon murskaimesta pysäytetään. Henkilökunnan arviot olivat muutamista sekunneista muutamiin kymmeniin minuutteihin. Tavoiteltavaa olisi, että pienemmillä malmin virtausmäärillä pystyttäisiin pysäyttämään osa murskaimista, että malmia riittäisi käynnissä olevien murskaimien tehokkaaseen ajoon.

HIMU1:n neljään murskaimeen on asennettu sähköinen paineventtiili, jonka tarjoamaa mittaustietoa tietoja ei tutkimuksen tekohetkellä vielä hyödynnetä. Olisikin selvítettävä, kuinka tämä toimilaite saadaan mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön.

Murskaimien huippulaakerirasvan mittauksen toteutuksen tutkiminen ja suunnittelu siten, että mittauksesta saataisiin mahdollisimman luotettava. Mittausten säännöllistäminen, rasvausjärjestelmän lisäämän rasvamäärän ja käsin lisättävän rasvamäärän vakioiminen, jotta saataisiin tutkittua murskaimien toteuttama rasvan kulutus.

Tällä hetkellä on epäily, ettei paineilmajärjestelmässä riitä murskaimille ilmaa kaikissa ajotilanteissa. Tulisikin selvittää, paljon on ilman teoreettinen kulutus, pystyykö nykyinen järjestelmä toimittamaan tarvittavan ilmamäärän ja kuinka voimakkaita vaihteluita HIMU1:n ilman virtausmäärissä on. Sanalla tulisi selvittää, voidaanko murskaimen ilmanpaineenmittausta käyttää hyödyksi arvioidessa murskaimen osien, kuten ulompien tiivisterenkaiden, kuntoa.

LÄHDELUETTELO

Andersen, B., Fagerhaug, T., 2006. Root cause analysis: Simplified tools and techniques. Toinen painos. United States, Milwaukee 53203: Tony A. William American Society for Quality, Quality Press.

Berendsen, H. J. C. 2011, 225 s., A Student's Guide to Data and Error Analysis, Cambridge university press, ISBN 9780511921247

Berk, J., 2009, Systems failure analysis, Materials Park, Ohio : ASM International, 202 s., ISBN 9781613441237

Bono, E., 1970, s.211, Lateral Thinking, Penguin Books, London, ISBN 9780141938318

Cuesta, Hector, 2013, s.100, Practical Data Analysis, Packt Publishing, ISBN 1-78328-099-9

Dhillon, B. S. 2008, Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety, 201 s. Springer, ISBN 978-1-84800-287-6

Gharahasonlou, N., Mokhtarei, A., Khodayarei, A., Ataei, M., 2014, Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran, Elsevier Ltd. Case Studies in engineering failure analysis, 2 (1), S. 33-38.

Geitner, F.K. Bloch, H.P. 2006 , Maximizing Machinery Uptime, 672 s., viides painos, Burlington Gulf Professional Publishing, ISBN 0750677252

Gölbasi, O., Demirel, N., 2017. A cost-effective simulation algorithm for inspection interval optimization An application to mining equipment. Computer & Industrial Engineering, 113, S. 525-540

Hakapää A., Lappalainen P., Paajanen J., Teikari M., 2008, Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Opetushallitus, 479 s. ISBN 978-952-13-5778-7

Hair, J., F., 2014, Multivariate data analysis, Harlow: Upper Saddle River, ISBN 978-1-292-03511-6

Heikkilä, T., 2014. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita, 297 s. ISBN 978-951-37-6495-1

Holopainen, M., Pulkkinen, P., 2002, s.338, Tilastolliset menetelmät, 2. painos, Sanoma Pro, ISBN 9510255718

Julisch, K., 2003. Clustering Intrusion Detection Alarms to Support Root Cause Analysis. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 4, S. 443 – 471

Karuppusami, G., 2006. Pareto analysis of critical success factors of total quality management: A literature review and analysis. The TQM Magazine, 18 (4), S. 358-371

Kasprzak, E.M., Lewis, K. E, 2001, Pareto analysis in multiobjective optimization using the collinearity theorem and scaling method. Struct Multidisc Optim, 22, S.208-218

Ketokivi, M., 2009, s. 251, Tilastollinen päättely ja tieteellinen argumentointi, Gaudeamus Helsinki University Press Oy Yliopistokustannus, HYY Yhtymä, ISBN 978-951-570-778-9

Kiviniemi, K., 2018. Laadullinen tutkimus prosessina, Teoksessa: Raine, V. (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 2, viiden painos. PS-kustannus, 302 s. ISBN 9789524516600

Kielitoimiston sanakirja. 2018. Helsinki: Kotimaisten kielten keskus. URN:NBN:fi:kotus-201433. Verkkojulkaisu HTML. Päivitettävä julkaisu. Päivitetty 6.6.2018 [viitattu 28.6.2018]

Knights, Peter F., 2001. Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. Journal of quality in maintenance engineering, 7 (4), S. 252-263

Mobley, R. Keith, 1999, s.40, Root Cause Failure Analysis, Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-7158-0

Nummenmaa L., Holopainen M., Pulkkinen P., 2017, Tilastollisten menetelmien perusteet, Sanoma Pro Oy, 3. painos, ISBN 978-952-63-2979-6

PSK 6201, 2011, Kunnossapito, käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK Standardisointi ry, 30 s.

RezaeeEmai, M., J., Salimi, A., Yousefi, A., 2017. Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 88 (9–12), S. 3329–3342

Sandvik, sisäinen raportti 2012, modification guide: Electric dump valve SANDVIK CH880, dokumenttinumero S 223.845.en, ensimmäinen versio

Sandvik sisäinen raportti, 2012, Asennus- ja käyttöopas, SANDVIK ASRi 2.02, 2.04, copyright 2012 Sandvik SRP AB, Julkaisu: 20140222, Versio:03, Asiakirjan tyyppi: Asennus- ja käyttöopas (IM/OM)

Sandvik sisäinen raportti, 2006, Sandvik rock process, käyttäjän käsikirja, , PF-syötin PF, PFU, PFL, asiakirjan numero S214 552

Seung, J.R., Kosuke I., 2003, Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability, Advanced Engineering Informatics, 17 (3–4), S. 179-188,

SFS-EN IEC 60812:2018:en, 2018, Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA), Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 1+3+ 77s.

Salkind, N., J., 2010, Encyclopedia of Research Design, Los Angeles. London, SAGE, ISBN 9781412961 (ebook)

Terrafame sisäinen raportti, Prosessin kuvaus – malminkäsittely, DokumenttiID 21398

Terrafame sisäinen raportti, 2018, työohje: Maximo 7.6.1 Työpyynnön luominen, dokumentin id 2912, osasto: Kunnossapito; yhteinen, hyväksyjä: Jussi Heino / 20.11.2018

Terrafame sisäinen raportti, 2018, työohje: Maximo 7.6 Ohje Työsuunnitelman luominen ja käyttö, DokumenttiID 29148, osasto: Kunnossapito; yhteinen, hyväksyjä: Jussi Heino / 4.2.2018

Uusitalo, M. s31. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito, Kunnossapitoyhdistys, 2000. Koonnut Järviö, J.. 192 s. ISBN 951 97101 4 0

Vasara, H. 2018, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 40/2018 TEM Toimialapalvelu Toimialaraportit Kaivosala, 91 s., Työ- ja elinkeinoministeriö, ISBN 978-952-327-353-5

Valmet DNA sisäinen raportti, 2015, Valmet Corporation, BR81 101_EN_01 09/2015 Vega sisäinen raportti, Operating Instructions VEGAPULS 67, Document ID: 32938, 32938-EN-190102

Wakerfield B. J., Linder B. S. McCoy J. T., Auret L., 2018 Monitoring of a simulated milling circuit: Fault diagnosis and economic impact. Minerals Engineering, 120, S. 132-151.

Zhang, M., Kecojevic, V., Komljenovic, D., 2014. Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis. Safety Science, 65, S. 106-11.

Ziarati, R., 2015, Safety at Sea – Applying Pareto Analysis, Turkish Maritime Education Foundation Institute of maritime studies

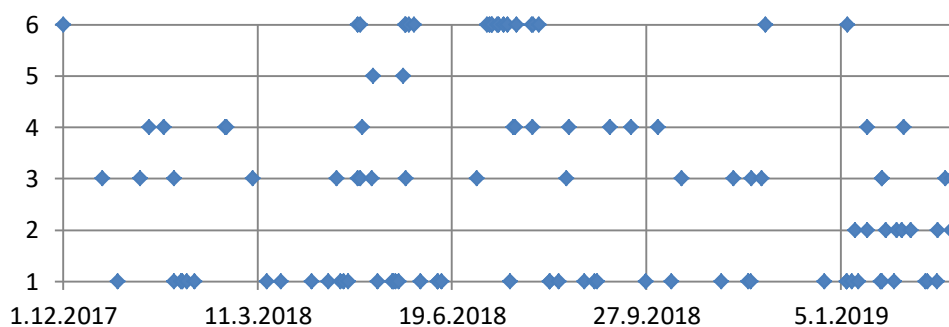
[illegible]

Liite 2 (1). Välittömien ja siirrettyjen vikojen luokittelu

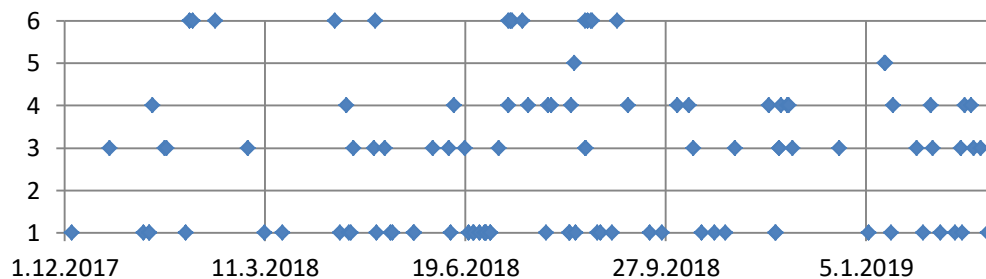
Kaikissa liitteessä esitetyissä kuvissa järjestys on:

- 6= pultti puuttuu / poikki
- 5 = hydrolinja
- 4 = Jensen öljy
- 3 = päävoiteluöljy
- 2 = Pinion öljy
- 1= muu Maximo – merkintä

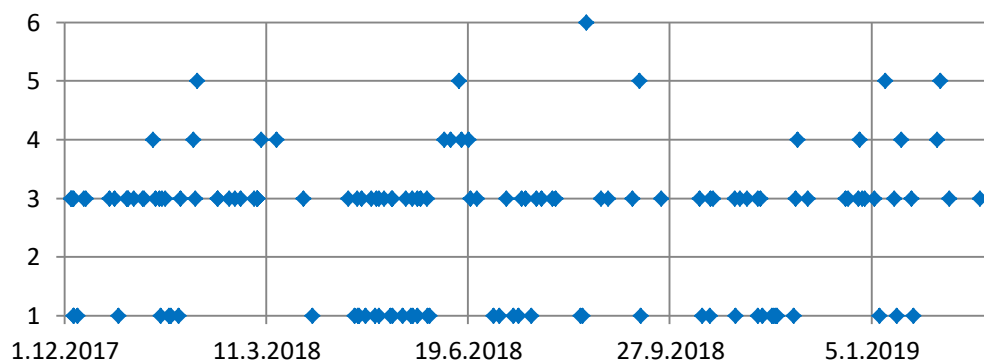
342MRK0001



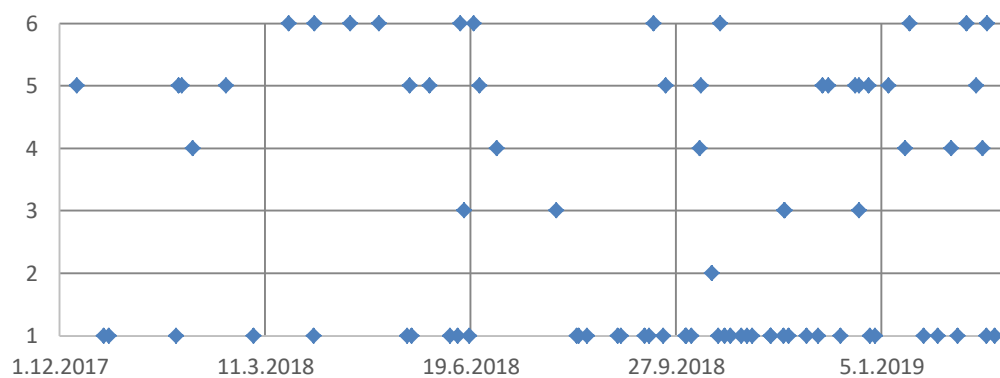
342MRK0002



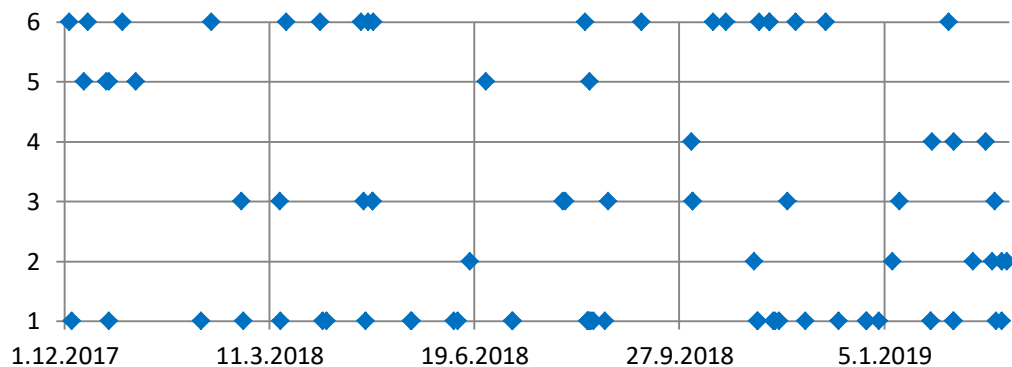
342MRK0003



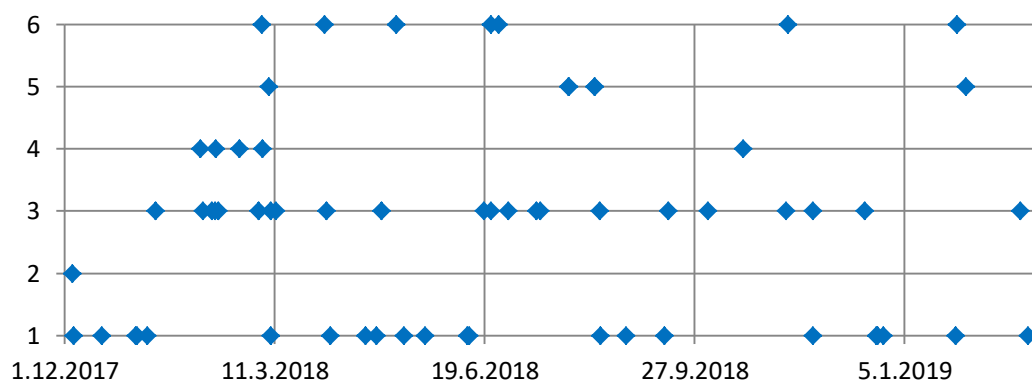
342MRK0004



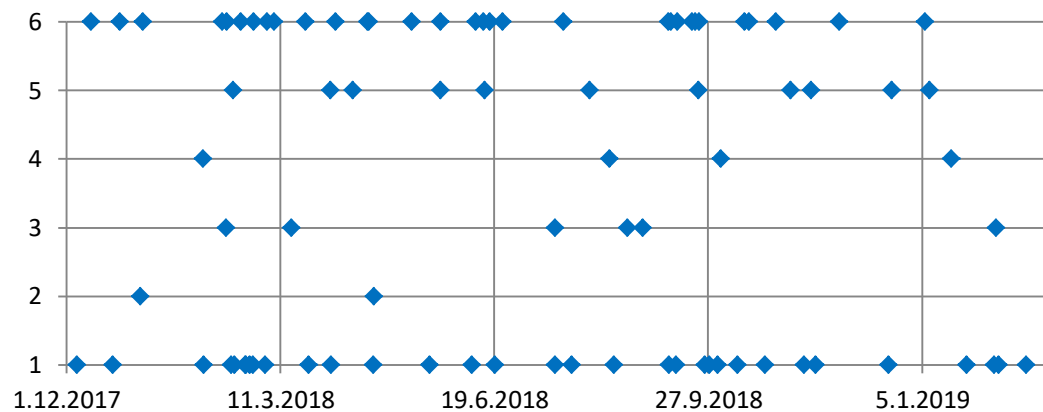
342MRK0005



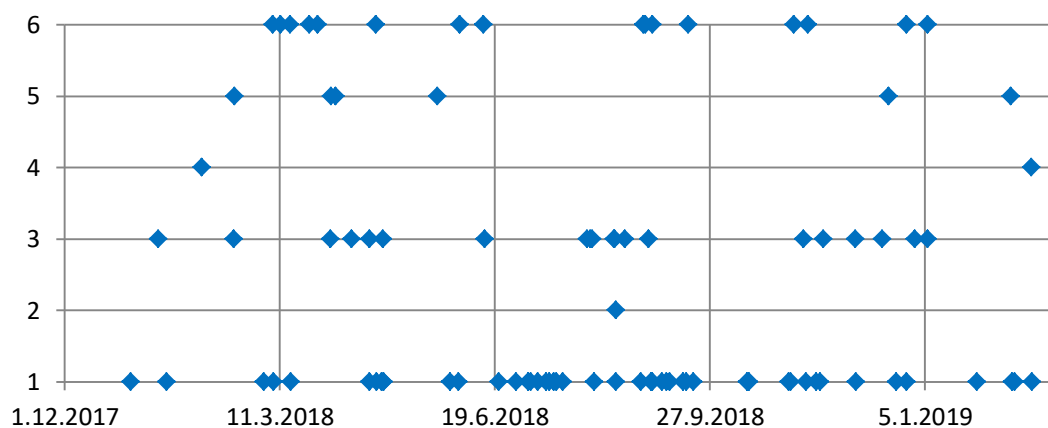
342MRK0008



342MRK0009

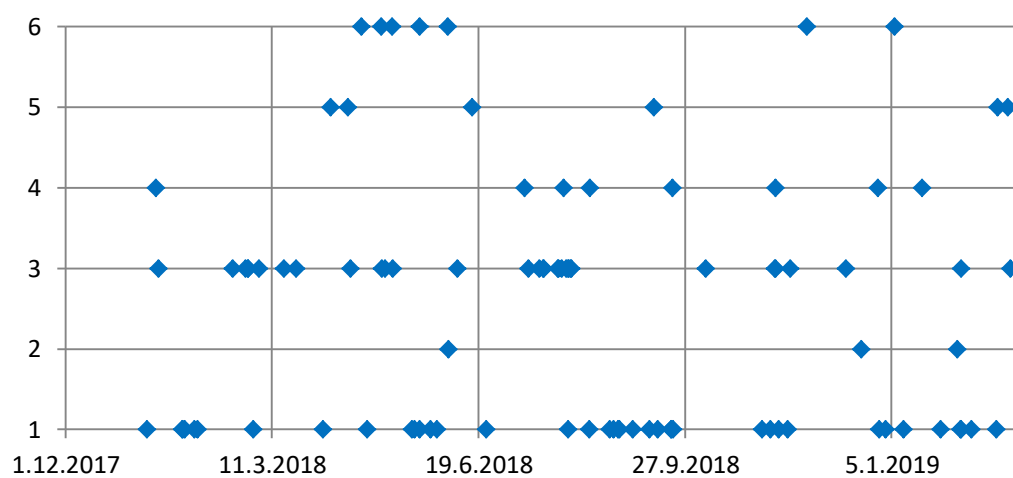


342MRK0010

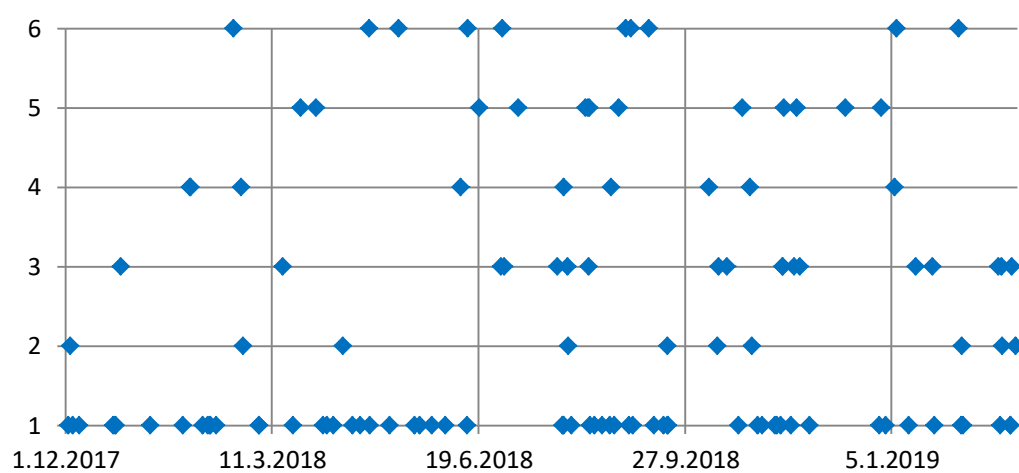


Liite 2 (4). Välittömien ja siirrettyjen vikojen luokittelu

342MRK0011

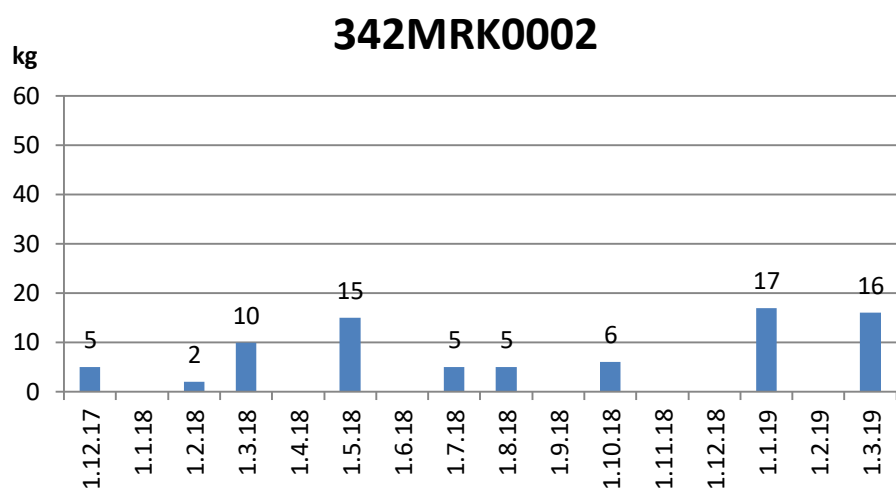
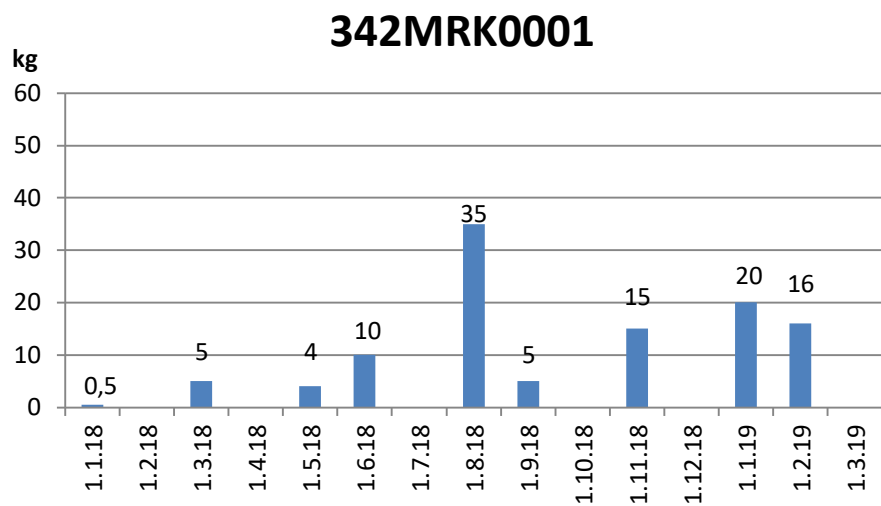


342MRK0012

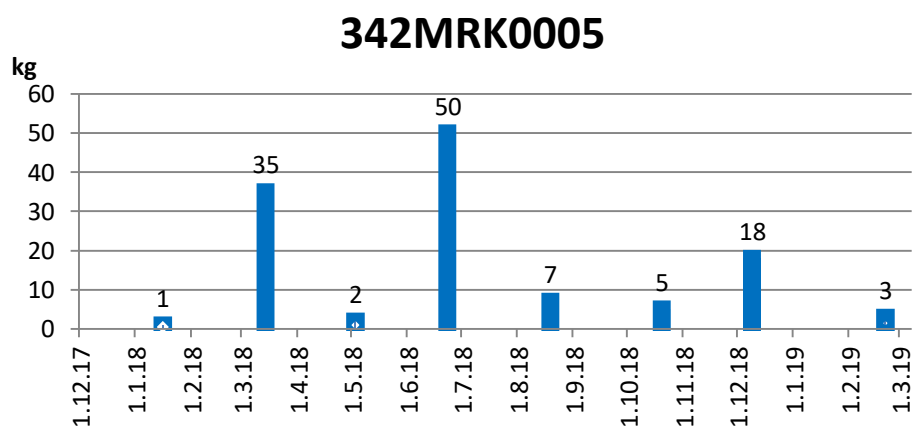
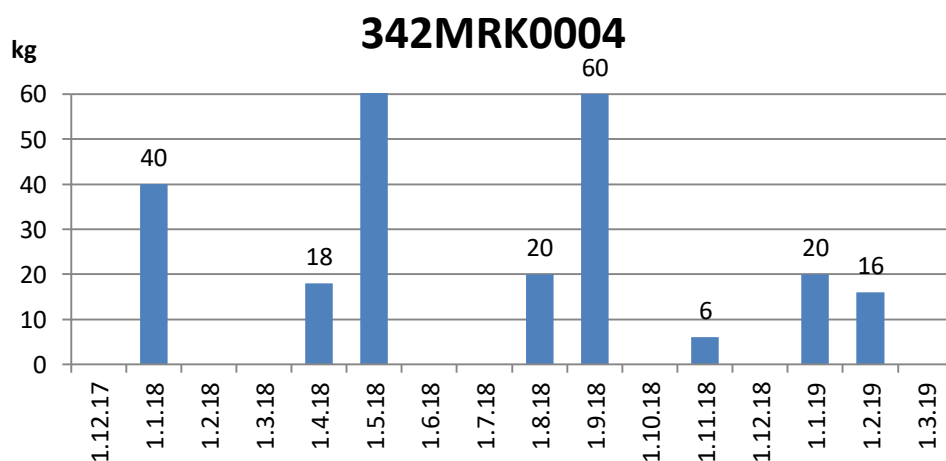
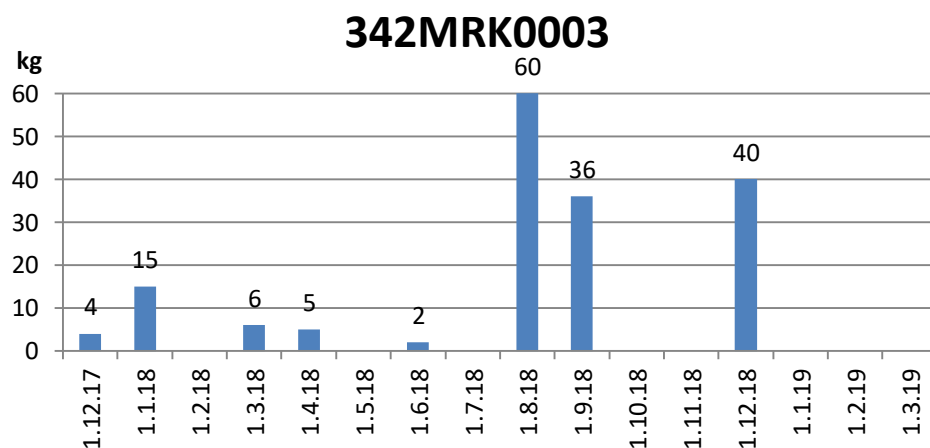


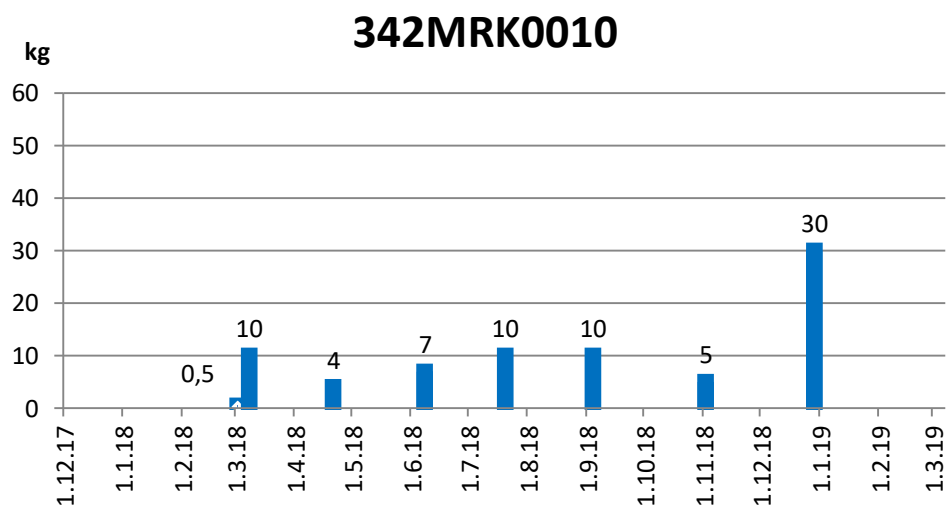
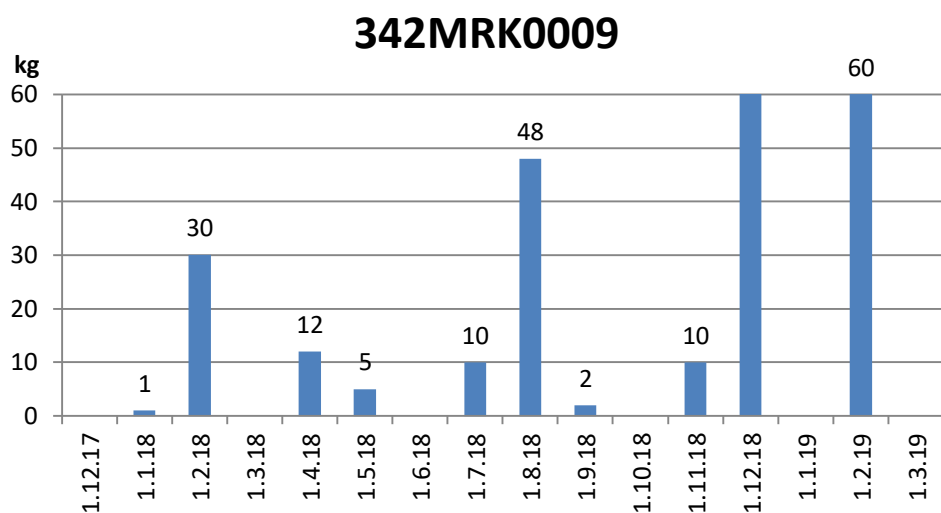
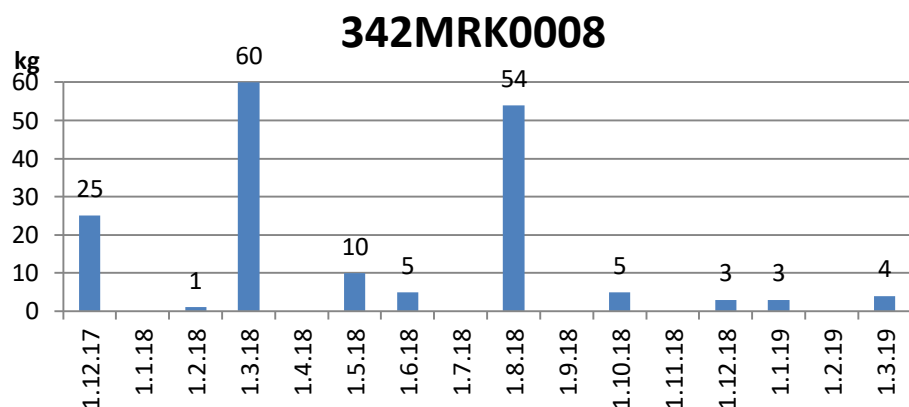
Liite 3 (1). Huippulaakerirasvan mittaus murskaimittain

Pylväät kuvaavat terityksen yhteydessä tehtyä arviota rasvanmäärästä kiloina.



Liite 3 (2). Huippulaakerirasvan mittaus murskaimittain





Liite 3 (4). Huippulaakerirasvan mittaus murskaimittain

